

34.2  
К 78



# КРАТКИЙ СПРАВОЧНИК МЕТАЛЛИСТА

МАШИНОСТРОЕНИЕ

SCAN BY AF\_SERGEY  
(af\_sergey@mail.ru)

КРАТКИЙ  
СПРАВОЧНИК  
**МЕТАЛЛИСТА**



# КРАТКИЙ СПРАВОЧНИК МЕТАЛЛИСТА

## *АВТОРСКИЙ КОЛЛЕКТИВ:*

А.Е. Древаль, Е.А. Скороходов, А.В. Агеев,  
К.И. Библин, В.С. Булошников, С.Г. Васильев,  
Д.В. Виноградов, А.С. Калашников, Л.А. Колесников,  
О.В. Кононов, А.В. Литвиненко, О.В. Мальков,  
Л.Д. Малькова, В.С. Матвеев, В.Б. Мещерякова,  
П.Н. Орлов, А.Б. Пакнис, В.П. Покровский,  
В.Д. Проклова, Г.Р. Сагателян, К.Ф. Скворцов,  
И.Б. Ставицкий, В.С. Стародубов, В.А. Хрульков,  
А.С. Черничкин, А.А. Шатилов, Ю.А. Шачнев, А.И. Якушев



МОСКВА «МАШИНОСТРОЕНИЕ» 2005

30-11  
7-20

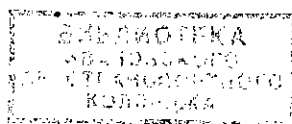
# КРАТКИЙ СПРАВОЧНИК МЕТАЛЛИСТА

745061

*4-е издание,  
переработанное и дополненное*

Под общей редакцией  
д-ра техн. наук **А.Е. ДРЕВАЛЯ**,  
канд. техн. наук **Е.А. СКОРОХОДОВА**

МОСКВА «МАШИНОСТРОЕНИЕ» 2005



УДК 621.9  
ББК 34.5  
К78

*Авторы:* А.Е. Древаль, Е.А. Скороходов, А.В. Агеев, К.И. Билибии, В.С. Булошников, С.Г. Васильев, Д.В. Виноградов, А.С. Калашников, Л.А. Колесников, О.В. Коионов, А.В. Литвниенко, О.В. Мальков, Л.Д. Малькова, В.С. Матвеев, В.Б. Мещерякова, П.Н. Орлов, А.Б. Пакнис, В.П. Покровский, В.Д. Проклова, Г.Р. Сагателяи, К.Ф. Скворцов, И.Б. Ставицкий, В.С. Стародубов, В.А. Хрульков, А.С. Черничкин, А.А. Шатилов, Ю.А. Шачнев, А.И. Якушев

**В справочнике использовано более 700 ГОСТов, действующих и утвержденных на 1 июля 2004 г.**

**К 78 Краткий справочник металлиста / Под общ. ред. А.Е. Древаля, Е.А. Скорохова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машинноестроение, 2005. 960 с.: ил. ISBN 5-217-03261-8 (в пер.).**

Приведены сведения по расчету технологических размеров заготовок, основам взаимозаменяемости, методам и средствам контроля, материалам, металлорежущим станкам, токарной обработке, обработке отверстий осевым инструментом и другим видам обработки металлов резанием, электрофизическим и электрохимическим методам обработки, слесарным работам и сборке. Также изложены сведения по технологичности деталей, обеспечению качества и размерной стабильности заготовок, выбору режимов резания, повышению износостойкости резцов и обработке на станках с ЧПУ.

Четвертое издание (3-е изд. 1986 г.) переработано в соответствии с новыми стандартами и технической документацией, дополнено сведениями по восстановлению режущих свойств инструментов, смазывающе-охлаждающим технологическим средствам и другими материалами.

Для инженерно-технических работников всех отраслей промышленности, полезен преподавателям и студентам вузов.

УДК 621.9  
ББК 34.5

ISBN 5-217-03261-8

© Издательство «Машиностроение», 2005

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, опубликованных в данной книге, допускаются только с разрешения издательства и со ссылкой на источник информации.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Раздел</b>	<b>1. ОБЩЕТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СПРАВОЧНЫЕ СВЕДЕНИЯ</b> .....	9			
<b>Глава</b>	<b>1. Технологоическая терминология</b> ( <i>Е.А. Скороходов</i> ) .....	9	<b>Глава</b>	<b>2. Типовые технологоические процессы для изготовлении высокоточных деталей из литейных и деформируемых сплавов. Размерная стабильность материалов</b> ( <i>Е.А. Скороходов</i> ) .....	105
<b>Глава</b>	<b>2. Взаимозаменяемость. Методы и средства контроля</b> ( <i>Ю.А. Шачнев, А.И. Якушев</i> ) .....	14	<b>Глава</b>	<b>3. Приспособление для установки заготовок на станках</b> ( <i>А.А. Шатилов, Л.А. Колесников</i> )	140
	Основные понятия и определения	14		Базирование заготовок .....	140
	Методы и средства контроля ...	16		Схемы установки заготовок и опоры СП .....	145
	Нормирование точности формы и расположения поверхностей ...	21		Зажимные механизмы и приводы СП .....	157
	Шероховатость поверхности ...	24		Погрешность установки заготовок в СП .....	168
	Допуски гладких элементов соединений .....	26	<b>Глава</b>	<b>4. Выбор режима и условий резания. Повышение износостойкости инструмента</b> ( <i>Г.Р. Сагателян, В.П. Покровский, П.Н. Орлов</i> ) .....	181
	Допуски углов. Допуски и посадки конических соединений ..	32		Последовательность выбора режима резания .....	181
	Взаимозаменяемость резьбовых соединений .....	32		Выбор материала для инструмента .....	181
	Нормирование точности зубчатых передач .....	36		Применение износостойких покрытий .....	209
	Взаимозаменяемость шпоночных и шлицевых соединений ...	42	<b>Глава</b>	<b>5. Металлорежущие станки</b> ( <i>В.С. Стародубов</i> ) .....	222
<b>Глава</b>	<b>3. Материалы в машиностроении</b> ( <i>Е.А. Скороходов, К.Ф. Скворцов</i> ) .....	45		Классификация и система обозначения станков .....	222
	Условные обозначения и маркировка .....	45		Технические характеристики ...	239
	Стали .....	51		Токарные станки .....	239
	Цветные металлы и сплавы ....	59		Сверлильные и расточные станки .....	252
	Сплавы твердые печенные ....	69		Шлифовальные станки .....	263
	Сортамент изделий из стали и сплавов .....	70		Электрофизические и электрохимические станки .....	273
	Пластмассы .....	82		Зубо- и резьбообрабатывающие станки .....	277
<b>Раздел</b>	<b>II. ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ И СБОРКИ</b> .....	86		Фрезерные станки .....	287
<b>Глава</b>	<b>1. Технологоичность деталей и заготовок</b> ( <i>А.С. Черничкин</i> ) .....	86		Строгальные и долбежные станки .....	294
	Общие понятия .....	86			
	Общие правила обработки конструкции на технологоичность .....	87			
	Технологоичность отливок .....	91			
	Технологоичность деталей, получаемых листовой штамповкой, гибкой сортового металла и холодным выдавливанием .....	97			

	Протяжные и отрезные станки .....	296		Нарезание резьбы резцами .....	521
<b>Глава 6. Токарные работы</b> (К.И. Библин) .....		300		Нарезание резьбы метчиками ...	528
Обработка на токарных станках .....		300		Нарезание резьбы круглыми плашками .....	539
Обработка на токарно-револьверных станках .....		333		Нарезание резьбы головками ...	542
Обработка на токарных автоматах .....		338		Нарезание резьбы гребенчатыми резьбовыми фрезами .....	546
Обработка на горизонтальных одношпиндельных токарных полуавтоматах .....		357	<b>Глава 12. Зубообработка</b> (А.С. Калашников) .....		548
Обработка на вертикальных многшпиндельных токарных полуавтоматах .....		359	Основные понятия .....		560
Обработка на токарно-карусельных станках .....		365	Изготовление цилиндрических зубчатых колес .....		564
<b>Глава 7. Обработка отверстий осевым инструментом</b> (Д.В. Виноградов, В.С. Матвеев, П.Н. Орлов) .....		368	Изготовление конических зубчатых колес .....		581
Сверла. Зенкеры и зенковки ...		370	Изготовление деталей червячных передач .....		589
Развертки .....		386	<b>Глава 13. Абразивная обработка</b> (Г.Р. Сагателян, В.А. Хрульков) .....		593
Комбинированные инструменты		400	Абразивные материалы .....		593
Режимы резания .....		403	Абразивные инструменты .....		599
Сверла одностороннего резания		413	Заготовительные процессы абразивной обработки .....		614
Наладка станка, инструмента, оснастки при сверлении .....		416	Виды шлифования .....		617
<b>Глава 8. Протягивание</b> (А.Е. Древаль, О.В. Мальков, П.Н. Орлов) .....		429	Алмазные материалы и инструменты .....		626
Основные понятия .....		429	Эльборовые круги .....		646
Основные конструктивные элементы внутренних протяжек ..		437	Правка абразивных инструментов .....		653
Протягивание наружных поверхностей .....		452	Алмазная правка .....		654
Протяжки повышенной стойкости .....		453	Безалмазная правка .....		660
Наладка протяжных станков ...		458	Правила безопасной работы абразивным инструментом .....		662
Режимы резания .....		460	<b>Глава 14. Восстановление режущих свойств инструментов</b> (В.С. Булошников, Л.Д. Малькова) .....		664
<b>Глава 9. Фрезерование</b> (А.Е. Древаль, С.Г. Васильев, П.Н. Орлов) .....		471	Износ инструмента .....		664
Основные понятия .....		471	Основные требования к параметрам восстановленных инструментов .....		665
Режимы резания .....		491	Оборудование, приспособления и инструмент для заточки ..		667
<b>Глава 10. Строгание и долбление</b> (О.В. Кононов, П.Н. Орлов) .....		511	Технологические особенности процесса заточки и доводки лезвийного инструмента .....		673
<b>Глава 11. Резьбообразование</b> (А.В. Литвиненко, А.Д. Агеев) .....		518			

	Заточка и доводка инструмента оснащенного твердым сплавом	674		Ультразвуковая размерная обработка	741
	Заточка и доводка инструмента из быстрорежущей стали	678		Лазерная обработка	746
	Заточка и доводка инструмента из синтетического сверхтвер- дого материала	681		Электронно-лучевая обра- ботка	752
	Контроль качества заточки и доводки	684		Электрохимическая обработка	753
<b>Глава</b>	<b>15. Чистовая и отделочная обработка (Г.Р. Сагателян, П.Н. Орлов)</b>	692	<b>Глава</b>	<b>17. Обработка деталей на ме- таллорежущих станках с ЧПУ (В.С. Стародубов, В.Б. Меце- рякова)</b>	767
	Лезвийная отделочная обра- ботка	692		Основные понятия и определе- ния в станках с ЧПУ и их сис- темах управления	767
	Тонкое алмазное точение и расточивание	692		Понятие системы ЧПУ, ее элементов и структура стан- ка с ЧПУ	767
	Тонкое фрезерование	694		Общая схема процесса обра- ботки деталей на станках с ЧПУ	767
	Алмазное выглаживание	696		Основные этапы и особен- ности подготовки УП для станков с ЧПУ	768
	Абразивная отделочная обра- ботка	697		Кодирование информации УП и ее запись на програм- моносителе	769
	Тонкое шлифование	697		Структура построения УП	772
	Суперфиниширование	697		Система координат станков с ЧПУ	777
	Хонингование	701		Виды и структура систем ЧПУ	779
	Шлифование и полирование абразивными лентами	702		Виды и характеристика сис- тем обратной связи при управлении приводами по- дач в станках с ЧПУ	789
	Чистовая и прецизионная об- работка	706		Компоновочно-конструктив- ные решения станков и ста- ночных систем	791
	Струйно-абразивная обра- ботка	706		Наладка станков с ЧПУ	796
	Виброабразивная обработка	706		Технологическое проектирова- ние и подготовка УП для стан- ков с ЧПУ	802
	Абразивная доводка	707		Подготовка исходных данных для проектирования техноло- гического процесса обработ- ки детали на станке с ЧПУ	802
	Безабразивная доводка твер- досплавными дисками	709		Разработка маршрутной технологии обработки дета- ли на станке с ЧПУ	820
	Отделочная обработка инстру- ментами на гибкой основе	710			
	Грубое шлифование	710			
	Тонкое шлифование	716			
	Полирование	725			
<b>Глава</b>	<b>16. Электрофизические и электрохимические методы обработки (И.Б. Ставицкий, Г.Р. Сагателян, В.Д. Проклова)</b>	728			
	Электрофизические методы обработки	728			
	Электроэрозионная обра- ботка	728			



	Разработка операционного технологического процесса обработки деталей на станке с ЧПУ .....	828			
	Расчет УП, кодирование информации и запись на программноносителе .....	834			
	Контроль УП .....	845			
	Отладка УП на станке с ЧПУ. Пробная обработка детали .....	846			
<b>Глава 18.</b>	<b>Слесарные работы (Г.Р. Сагателян) .....</b>	<b>848</b>	<b>Глава 19.</b>	<b>Смазывающе-охлаждающие технологические среды (Д.В. Виноградов) .....</b>	<b>885</b>
	Разрезание .....	848		Функциональные свойства .....	885
	Полотна для ручных ножовок .....	848		СОТС, применяемые при резании .....	888
	Ручные ножовки по металлу .....	850		Жидкие СОТС .....	890
	Опиливание .....	851		Пластичные СОТС (консистентные смазки) .....	895
	Общие сведения .....	851		Твердые СОТС .....	895
	Насечки напильников и надфилей .....	851		Пасты .....	896
	Характеристики напильников и надфилей .....	855		Газообразные СОТС .....	896
	Обработка борфрезами .....	861		Обозначение и сортамент ... ..	896
	Твердосплавные борфрезы ..	863		Основные этапы "жизненного цикла" СОТС .....	903
	Борфрезы из быстрорежущей стали .....	870		Оценка качества СОТС .....	903
	Обработка техническими щетками .....	875		Изготовление и приготовление СОТС .....	903
	Общие сведения .....	875		Применение СОТС .....	904
	Основные формы щеток .....	878		Утилизация СОТС .....	909
	Приводные устройства для инструментов .....	881	<b>Глава 20.</b>	<b>Технология сборки машин (А.Б. Пакнис) .....</b>	<b>911</b>
				Общие сведения .....	911
				Сборка неподвижных разъемных соединений .....	912
				Сборка неподвижных неразъемных соединений .....	917
			<b>Приложения</b> .....		<b>923</b>
				Расчет технологических размеров заготовок .....	923
				Поверхности и объемы тел .....	944
				ЕСКД. Обозначения шероховатости поверхностей .....	947
			<b>Предметный указатель</b> .....		<b>952</b>

# Раздел I

## ОБЩЕТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СПРАВОЧНЫЕ СВЕДЕНИЯ

### Глава 1

#### ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ТЕРМИНОЛОГИЯ

---

Единая система конструкторской документации (ЕСКД) – комплекс стандартов, устанавливающих взаимосвязанные нормы и правила по разработке, оформлению и обращению конструкторской документации, разрабатываемой и применяемой на всех стадиях жизненного цикла изделия (при проектировании, изготовлении, эксплуатации, ремонте и др.) [ГОСТ 2.001–93 (в ред. 2001 г.)].

**Виды изделий.** Изделием называется любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии [ГОСТ 2.101–68 (в ред. 2001 г.)].

Изделия в зависимости от их назначения делят на изделия основного производства и вспомогательного. К первым относятся изделия, предназначенные для поставки; ко вторым – изделия, предназначенные только для собственных нужд.

ГОСТ устанавливает следующие виды изделий:

*деталь* – изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала, без применения сборочных операций;

*сборочная единица* – изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями (свинчиванием, сваркой, пайкой, клепкой, склеиванием и др.);

*комплекс* – два и более специфицированных изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций;

*комплект* – два и более изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющих набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера.

Изделия, в зависимости от наличия или отсутствия в них составных частей, делят на неспецифицированные (детали) – не имеющие

составных частей; специфицированные (сборочные единицы, комплексы и комплекты) – состоящие из двух и более составных частей.

**Виды конструкторских документов.** К конструкторским документам согласно ГОСТ 2.102–68 (в ред. 2001 г.) относятся графические (чертеж детали, сборочный чертеж, чертеж общего вида, монтажный чертеж и др.) и текстовые документы, (пояснительная записка, технические условия, патентный формуляр и др.) которые в отдельности или в совокупности определяют состав и устройство изделия и содержат необходимые данные для его разработки или изготовления, контроля, приемки, эксплуатации или ремонта.

*Чертеж детали* – документ, содержащий изображение детали и другие данные, необходимые для изготовления и контроля.

*Сборочный чертеж* – документ, содержащий изображение сборочной единицы и другие данные, необходимые для ее сборки (изготовления) и контроля. К сборочным чертежам также относят чертежи, по которым выполняют гидромонтаж и пневмомонтаж.

*Чертеж общего вида* – документ, определяющий конструкцию изделия, взаимодействие его основных составных частей и поясняющий принцип работы изделия.

*Технические условия* – документ, содержащий требования (совокупность всех показателей, норм, правил и положений) к изделию, его изготовлению, контролю, приему и поставке, которые целесообразно указывать в других конструкторских документах.

**Стадии разработки конструкторской документации.** ГОСТ 2.103–68 (в ред. 2001 г.) устанавливает следующие стадии разработки конструкторской документации:

*техническое предложение* – совокупность конструкторских документов, которые должны содержать технические и технико-экономические обоснования целесообразности

разработки документации изделия на основании анализа технического задания заказчика и различных вариантов возможных решений изделий, сравнительной оценки решений с учетом конструктивных и эксплуатационных особенностей разрабатываемого и существующих изделий, а также патентных материалов;

*эскизный проект* – совокупность конструкторских документов, которые должны содержать принципиальные конструктивные решения, дающие общее представление об устройстве и принципе работы изделия, а также данные, определяющие назначение, основные параметры и габаритные размеры разрабатываемого изделия;

*технический проект* – совокупность конструкторских документов, которые должны содержать окончательные технические решения, дающие полное представление об устройстве разрабатываемого изделия, и исходные данные для разработки рабочей документации.

**Технологическая подготовка производства.**

*Производственный процесс* [ГОСТ 14.004–83 (в ред. 1989 г.)] – совокупность всех действий людей и орудий труда, необходимых на данном предприятии для изготовления и ремонта продукции.

*Технологическая подготовка производства* – совокупность мероприятий, обеспечивающих технологическую готовность производства.

*Функция технологической подготовки производства* – комплекс задач по технологической подготовке производства, объединенных общей целью их решения.

*Организация технологической подготовки производства* – формирование структуры технологической подготовки производства и подготовка информационного, математического и технического обеспечения, необходимого для выполнения функций ТПП.

*Объем выпуска продукции* – количество изделий определенных наименований, типоразмеров и исполнений, изготавливаемых или ремонтируемых предприятием или его подразделением в течение планируемого периода времени.

*Коэффициент закрепления операций* – отношение числа всех различных технологических операций, выполненных или подлежащих выполнению в течение месяца, к числу рабочих мест.

*Тип производства* – классификационная категория производства, выделяемая по признакам широты номенклатуры, регулярности, стабильности и объема выпуска изделий. Раз-

личают типы производства: единичное, серийное и массовое. Одной из основных характеристик типа производства является коэффициент закрепления операций.

*Вид производства* – классификационная категория производства, выделяемая по признаку применения метода изготовления изделия. Примерами видов производства являются литейное, сварочное и т.д.

*Единичное производство* – производство, характеризующееся малым объемом выпуска одинаковых изделий, повторное изготовление и ремонт которых, как правило, не предусматриваются.

*Серийное производство* – производство, характеризующееся изготовлением или ремонтом изделий периодически повторяющимися партиями. В зависимости от количества изделий в партии или серии и значения коэффициента закрепления операций различают мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное производство.

Коэффициент закрепления операций в соответствии с ГОСТ 3.1121–84 принимают равным:

для мелкосерийного производства – свыше 20 до 40 включительно;  
для среднесерийного производства – свыше 10 до 20 включительно;  
для крупносерийного производства – свыше 1 до 10 включительно.

*Массовое производство* – производство, характеризующееся большим объемом выпуска изделий, непрерывно изготавливаемых или ремонтируемых продолжительное время, в течение которого на большинстве рабочих мест выполняется одна рабочая операция. Коэффициент закрепления операций в соответствии с ГОСТ 3.1121–84 для массового производства принимают равным 1.

*Производственная мощность* – расчетный максимально возможный в определенных условиях объем выпуска изделий в единицу времени.

*Программа выпуска продукции* – установленный для данного предприятия перечень изготавливаемых или ремонтируемых изделий с указанием объема выпуска по каждому наименованию на планируемый период времени.

*Серия изделия* – все изделия, изготовленные по конструкторской и технологической документации без изменения ее обозначения.

*Производственный цикл* – интервал времени от начала до окончания производственного процесса изготовления или ремонта изделия.

*Групповое производство* – производство, характеризующееся совместным изготовлением или

ремонт групп изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками.

*Поточное производство* – производство, характеризующееся расположением средств технологического оснащения в последовательности выполнения операций технологического процесса и определенным интервалом выпуска изделий.

*Средства технологического оснащения* – совокупность орудий производства, необходимых для осуществления технологического процесса [ГОСТ 3.1109–82 (в ред. 1985 г.)].

*Технологический процесс* – часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда.

*Единичный технологический процесс* – технологический процесс изготовления или ремонта изделия одного наименования, типоразмера и исполнения, независимо от типа производства.

*Типовой технологический процесс* – технологический процесс изготовления группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками.

*Групповой технологический процесс* – технологический процесс изготовления группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками.

*Маршрутное описание технологического процесса* – сокращенное описание всех технологических операций в маршрутной карте в последовательности их выполнения без указания переходов и технологических режимов.

*Операционное описание технологического процесса* – полное описание всех технологических операций в последовательности их выполнения с указанием переходов и технологических режимов.

*Маршрутно-операционное описание технологического процесса* – сокращенное описание технологических операций в маршрутной карте в последовательности их выполнения с полным описанием отдельных операций в других технологических документах.

*Технологическая операция* – законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте.

*Материал* – исходный предмет труда, потребляемый для изготовления изделия.

*Полуфабрикат* – предмет труда, подлежащий дальнейшей обработке на предприятии-потребителе.

*Заготовка* – предмет труда, из которого изменением формы, размеров, свойств поверхности и (или) материала изготавливают деталь.

*Исходная заготовка* – заготовка перед первой технологической операцией.

*Основной материал* – материал исходной заготовки.

*Вспомогательный материал* – материал, расходуемый при выполнении технологического процесса дополнительно к основному материалу. Вспомогательными могут быть материалы, расходуемые при нанесении покрытия, сварке, пайке, закалке и т.д.

*Комплекующее изделие* – изделие предприятия-поставщика, применяемое как составная часть изделия, выпускаемого предприятием-изготовителем. Составными частями изделия могут быть детали и сборочные единицы.

*Установ* – часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемых заготовок или собираемой сборочной единицы.

*Технологический переход* – законченная часть технологической операции, выполняемая одними и теми же средствами технологического оснащения при постоянных технологических режимах и установке.

*Вспомогательный переход* – законченная часть технологической операции, состоящая из действий человека и (или) оборудования, которые не сопровождаются изменением свойств предметов труда, но необходимы для выполнения технологического перехода. Примерами вспомогательных переходов являются закрепление заготовки, смена инструмента и т.д.

*Рабочий ход* – законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменением формы, размеров, качества поверхности и свойств заготовки.

*Вспомогательный ход* – законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, необходимого для подготовки рабочего хода.

*Позиция* – фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленной обрабатываемой заготовкой или собираемой сборочной единицей совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования при выполнении определенной части операции.

*Цикл технологической операции* – интервал календарного времени от начала до конца периодически повторяющейся технологической операции независимо от числа одновременно изготавливаемых или ремонтируемых изделий.

*Такт выпуска* – интервал времени, через который периодически производится выпуск

изделий или заготовок определенного наименования, типоразмера и исполнения.

*Ритм выпуска* – количество изделий или заготовок определенных наименований, типоразмеров и исполнений, выпускаемых в единицу времени.

*Формообразование* – изготовление заготовки или изделия из жидких, порошкообразных или волокнистых материалов.

*Литье* – изготовление заготовки или изделия из жидкого материала заполнением им полости заданной формы и размеров с последующим затвердением.

*Формование* – формообразование из порошкообразного или волокнистого материала с помощью заполнения им полости заданной формы и размеров с последующим сжатием.

*Гальванопластика* – формообразование из жидкого материала при помощи осаждения металла из раствора под действием электрического тока.

*Обработка* – действие, направленное на изменение свойств предмета труда при выполнении технологического процесса.

*Механическая обработка* – обработка давлением или резанием.

*Обработка резанием* – обработка, заключающаяся в образовании новых поверхностей отделением поверхностных слоев материала с образованием стружки.

*Обработка давлением* – обработка, заключающаяся в пластическом деформировании или разделении материала (без образования стружки).

*Термическая обработка* – обработка, заключающаяся в изменении структуры и свойств материала заготовки вследствие тепловых воздействий.

*Электрофизическая обработка* – обработка, заключающаяся в изменении формы, размеров и (или) шероховатости поверхности заготовки с применением электрических разрядов, магнитострикционного эффекта, электронного или оптического излучения, плазменной струи.

*Электрохимическая обработка* – обработка, заключающаяся в изменении формы, размеров и (или) шероховатости поверхности заготовки вследствие растворения ее материала в электролите под действием электрического тока.

*Нанесение покрытия* – обработка, заключающаяся в образовании на заготовке поверхностного слоя из инородного материала.

*Сборка* – образование соединений составных частей изделия (разъемных или неразъемных).

*Технологическое оборудование* – средства технологического оснащения, в которых для выполнения определенной части технологического процесса размещаются материалы или заготовки, средства воздействия на них, а также технологическая оснастка. Примерами технологического оборудования являются литейные машины, прессы, станки, печи, гальванические ванны, испытательные стенды и т.д.

*Технологическая оснастка* – средства технологического оснащения, дополняющие технологическое оборудование для выполнения определенной части технологического процесса. Примерами технологической оснастки являются режущий инструмент, калибры, штампы, приспособления, пресс-формы, модели, литейные формы, стержневые ящики и т.д.

*Наладка* – подготовка технологического оборудования и технологической оснастки к выполнению технологической операции. К наладке относятся установка приспособления, переключение скорости или подачи, настройка заданной температуры и т.д.

*Подналадка* – дополнительная регулировка технологического оборудования и (или) технологической оснастки при выполнении технологической операции для восстановления достигнутых при наладке значений параметров.

*Штучное время* – интервал времени, равный отношению цикла технологической операции к числу одновременно изготавливаемых или ремонтируемых изделий или равный календарному времени сборочной операции.

*Основное время* – часть штучного времени, затрачиваемая на изменение и (или) последующее определение состояния предмета труда.

*Вспомогательное время* – часть штучного времени, затрачиваемая на выполнение приемов, необходимых для обеспечения и последующего определения состояния предмета труда.

*Оперативное время* – часть штучного времени, равная сумме основного и вспомогательного времени.

*Механизация технологического процесса* (ГОСТ 23004–78) – применение энергии неживой природы в технологическом процессе или его составных частях, полностью управляемых людьми, осуществляемое в целях сокращения трудовых затрат, улучшения условий производства, повышения объема выпуска и качества продукции.

*Автоматизация технологического процесса* – применение энергии неживой природы в технологическом процессе или его составных частях для их выполнения и управления ими без непосредственного участия людей, осуще-

ствляемое в целях сокращения трудовых затрат, улучшения условий производства, повышения объема выпуска и качества продукции.

*Частичная механизация (автоматизация) технологических процессов* – механизация (автоматизация) технологических процессов или их систем, при которой часть затрат энергии людей заменена затратами энергии неживой природы, исключая (включая) управление.

*Полная механизация (автоматизация) технологических процессов* – механизация (автоматизация) технологических процессов или их систем, при которой все затраты энергии людей заменены затратами энергии неживой природы, исключая (включая) управление.

*Единая механизация (автоматизация) технологических процессов* – частичная или полная механизация (автоматизация) одной первичной составной части технологического процесса или системы технологических процессов, исключая (включая) управление. Содержание первичной части определяется первым делением объекта механизации (автоматизации) на составные части. Например, для системы технологических процессов первичными составными частями являются отдельные технологические процессы, для технологических процессов – технологические операции, для технологических операций – технологические и вспомогательные переходы и т.д.

*Комплексная механизация (автоматизация) технологических процессов* – частичная или полная механизация (автоматизация) двух или более первичных составных частей технологического процесса или системы технологических процессов, исключая (включая) управление.

*Первичная механизация (автоматизация) технологических процессов* – механизация (автоматизация) технологических процессов или их систем, в которых до ее проведения использовалась только энергия людей.

*Вторичная механизация (автоматизация) технологических процессов* – механизация (автоматизация) технологических процессов или их систем, в которых до ее проведения использовалась энергия людей и неживой природы (только неживой природы).

*Степень механизации (автоматизации) технологических процессов* – качественная характеристика состояния механизации (автоматизации) технологических процессов или их систем, определяемая областью их применения, которая может изменяться от технологической операции до системы технологических

процессов всех отраслей машиностроения и приборостроения.

*Ручное техническое устройство* – техническое устройство, функционирующее и управляемое при участии людей, без использования энергии неживой природы.

*Техническим устройством* называется изделие машиностроения или приборостроения для преобразования, добычи, перемещения, контроля объектов или управления ими. К техническим устройствам относят машины, инструменты, приспособления и т.д.

Объектами воздействий технических устройств могут быть материалы, заготовки, изделия, энергия, информация, растения и т.д.

Функционирование технического устройства представляет выполнение технологической операции по установленному алгоритму.

*Механизированно-ручное (автоматизированно-ручное) техническое устройство* – техническое устройство, функционирующее при одновременном применении энергии людей и неживой природы, которое управляется людьми без использования (с частичным использованием) энергии неживой природы.

*Автоматическое техническое устройство* – техническое устройство, функционирующее и управляемое по заданному алгоритму с использованием энергии неживой природы, без непосредственного участия людей.

*Механизированно-ручная (автоматизированно-ручная) машина* – машина, в которой движение инструмента происходит при помощи энергии неживой природы, перемещение объекта обработки относительно инструмента выполняется людьми, которые полностью (частично) осуществляют управление.

*Механизированная машина* – машина, являющаяся механизированным техническим устройством, в котором люди кроме установки и съема объектов обработки могут выполнять подачу инструмента.

*Машина-полуавтомат* – машина, выполняющая с помощью энергии неживой природы заданный алгоритм функционирования при участии людей в загрузке и выгрузке или установке и съеме объектов обработки и периодическом включении машины.

*Машина-автомат* – машина, являющаяся автоматическим техническим устройством.

*Ручной инструмент* – инструмент, являющийся ручным техническим устройством.

*Инструментом* называется техническое устройство, используемое в качестве орудия машины или человека для непосредственного изменения или определения состояния или для установки другого орудия в машине.

## ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ

### ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Взаимозаменяемостью изделий (машин, приборов, механизмов и т.д.), их частей или других видов продукции (сырья, материалов, полуфабрикатов и т.д.) называют их свойство равноценно заменять при использовании любой из множества экземпляров изделий, их частей или иной продукции другим одиотипным экземпляром.

*Функциональная взаимозаменяемость* изделий и их составных частей – вид взаимозаменяемости, при которой обеспечивается работоспособность изделий с оптимальными и стабильными (в заданных пределах) во времени эксплуатационными показателями (составных частей – с оптимальными показателями качества функционирования и взаимозаменяемость их по этим показателям). Для этого допуски и отклонения на изготовление деталей устанавливаются так, чтобы они составляли только часть соответствующих функциональных допусков, определенных по заданным пределам эксплуатационных показателей машины. Оставшаяся часть функциональных допусков после исключения допускаемой погрешности измерения является гарантированным запасом на износ для подвижных соединений и запасом прочности для соединений с натягом, что увеличивает их долговечность.

*Совместимость* – свойство объектов занимать свое место в сложном готовом изделии и выполнять требуемые функции при совместной или последовательной работе этих объектов и сложного изделия в заданных эксплуатационных условиях.

*Качество* (степень точности) – совокупность допусков, рассматриваемых как соответствующие одному уровню точности для всех номинальных размеров.

При определении количественных оценок отклонений формы и расположения за начало отсчета принимают прилегающие поверхности, профили, плоскости, цилиндры, прямые, окружности [ГОСТ 24642–81 (в ред. 1990 г.)]. ГОСТ допускает применение средних.

*Прилегающая поверхность* – поверхность, имеющая форму номинальной поверх-

ности, соприкасающаяся с реальной поверхностью и расположенная вне материала детали так, чтобы отклонение от нее наиболее удаленной точки реальной поверхности в пределах нормируемого участка имело минимальное значение ( $\Delta < \Delta_1$ ). Аналогично определены прилегающие плоскости, профиль и прямая.

*Прилегающий цилиндр* – цилиндр минимального диаметра, описанный вокруг реальной наружной поверхности, или цилиндр максимального диаметра, вписанный в реальную внутреннюю поверхность. Аналогично определена *прилегающая окружность*.

Количественно отклонение формы оценивается наибольшим расстоянием от точек реальной поверхности (профиля) до прилегающей поверхности (профиля) по нормали к прилегающей поверхности (профилю). На рис. 1 представлен пример выбора прилегающей прямой и количественная оценка отклонения от прямолинейности ( $\Delta$ ).

При измерении прилегающую строят по результатам измерений текущего размера (отклонений или координат точек поверхности) или в качестве прилегающих поверхностей используют рабочие поверхности контрольно-измерительных приборов, плит, интерференционных стекол, лекальных и поверочных линеек, калибров, контрольных оправок и т.п. В последнем случае методическая составляющая погрешности измерения будет включать и погрешность реализации прилегающей.

При контроле размеров необходимо широкостью исключить и принимать следующую интерпретацию предельных размеров.

Отверстие признается годным, если диаметр вписанного (прилегающего) на длине соединения цилиндра не меньше наименьшего

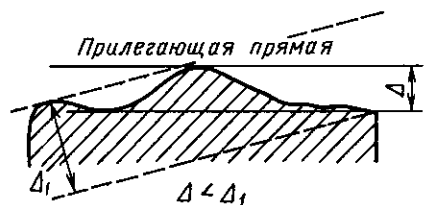


Рис. 1. Прилегающая прямая

предельного размера (предела максимума материала), а определенный путем двухточечного измерения максимальный диаметральный размер реального отверстия (максимальное расстояние между двумя противоположными точками отверстия) не больше наибольшего предельного размера (предела минимума материала).

Вал признается годным, если описанный (прилегающий) на длине соединения цилиндр не больше наибольшего предельного размера (предела максимума материала), а определенный путем двухточечного измерения минимальный диаметральный размер реального вала (минимальное расстояние между двумя противоположными точками вала) не меньше наименьшего предельного размера (предела минимума материала).

*Качество* (ИСО 9000 : 2000) определено как степень, с которой совокупность собственных характеристик выполняет **требования**. При этом *требование* определяется как потребность или ожидание, которое установлено, обычно предполагается или является обязательным. Во многих случаях в машиностроении совокупность собственных характеристик является простой суммой *количественных характеристик*, и потому их контроль является метрологической основой обеспечения качества.

*Контроль* – процедура оценивания соответствия путем наблюдения и суждений, сопровождаемых соответствующими измерениями, испытаниями или калибровкой.

*Процесс измерения* – совокупность операций для установления значения величины.

*Измерительное оборудование* – средство измерения, программные средства, эталоны, стандартные образцы и (или) вспомогательная аппаратура или комбинация из них, необходимые для выполнения процесса измерения. Средство измерения – техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические характеристики.

*Метрологическая характеристика* – отличительная особенность, которая может повлиять на результаты измерения. *Измерительное оборудование* обычно имеет несколько метрологических характеристик, которые могут быть предметом калибровки.

*Калибровка средств измерений* – совокупность операций, выполняемых с целью определения и подтверждения действительных значений метрологических характеристик и (или) пригодности к применению средств измерений, не подлежащего государственному метрологическому контролю и надзору. Ка-

либровку разрешается проводить метрологическим службам без каких-либо ограничений.

*Сертификация* определяется законом как деятельность по подтверждению соответствия продукции установленным требованиям.

*Методика выполнения измерений* – совокупность операций и правил, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с известной погрешностью. ГОСТ Р 8.563–96 (в ред. 2002 г.) определяет требования к методикам выполнения измерений, в числе которых оценивание погрешности измерения с указанием ее составляющих.

При многократных измерениях результат измерения величины представляют как среднее (без систематической погрешности) с доверительным интервалом с указанием значенной доверительной вероятности и числа измерений.

К многократным измерениям прибегают тогда, когда предполагаемые значения случайной составляющей могут привести к недопустимой ошибке контроля.

Измерение, при котором искомое значение находят непосредственно из опытных данных, называют *прямым*. Если искомое значение находят по известной зависимости на основании прямых измерений, то измерения называют *косвенными*. Точность косвенных измерений зависит от точности прямых измерений и точности используемой зависимости.

*Погрешность измерения* – отклонение результата измерения от действительного значения измеряемой величины. При этом за действительное принимают значение, погрешность нахождения которого, по крайней мере, на порядок меньше определяемой погрешности измерения.

Погрешность измерения является результатом несовершенства метода измерения (методическая погрешность), средств измерения (инструментальная погрешность) и неточностей отсчитывания показаний (субъективная погрешность). В то же время методическая погрешность включает погрешность базирования, погрешности, обусловленные измерительной силой, изменением размеров контролируемого изделия в результате отклонений температуры изделия от нормальной температуры и др. *Погрешность средства измерения*, используемого в нормальных условиях, называют *основной*, а составляющую погрешности средства измерения, вызванную использованием его в условиях, отличающихся от нормальных, называют *дополнительной* погреш-



ностью средства измерения. Нормальные условия выполнения линейных измерений в пределах 1...500 мм и измерений углов с длиной меньшей стороны до 500 мм устанавливает ГОСТ 8.050-73 (в ред. 1981 г.).

*Деление шкалы прибора* – промежуток между двумя соседними отметками шкалы.

*Диапазон показаний* – область значений шкалы, ограниченная ее конечным и начальным значениями.

*Диапазон измерений* – область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности средства измерений.

*Предел измерений* – наибольшее или наименьшее значение диапазона измерений.

*Измерительная сила ( $P_n$ )* – сила воздействия измерительного накопительника на контролируемую деталь в зоне контакта.

## МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ

Метод измерений называют *методом непосредственной оценки*, если значение величины определяют непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора, и *методом*

*сравнения*, если измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой. Эта мера выступает ие в виде неотъемлемой части конструкции измерительного прибора, а как самостоятельное средство измерения, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера.

Метод сравнения широко применяют при контроле деталей в массовом и серийном производстве, т.е. тогда, когда нет частых переналадок измерительного прибора на новое значение измеряемой величины и когда достаточной является информация об отклонении измеряемой величины от установленного значения. Использование метода сравнения позволяет применять при конструировании приспособлений малогабаритные типовые преобразователи.

Результаты измерения признаются достоверными, если погрешность измерения не превышала установленную величину *допускаемой погрешности измерения*. При приемке изделий пределы допускаемых погрешностей измерения линейных размеров 1...500 мм устанавливаются ГОСТ 8.051-81 в зависимости от допусков на изготовление (IT) и номинальных измеряемых размеров (табл. 1).

1. Допускаемые погрешности измерений, мм

Допуск	До 3	Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500
IT2	0,4	0,6	0,6	0,8	1,0	1,0	1,2	1,6	2,0	2,8	3,0	3,0	4,0
IT3	0,8	1,0	1,0	1,2	1,4	1,4	1,8	2,0	2,8	4,0	4,0	5,0	5,0
IT4	1,0	1,4	1,4	1,6	2,0	2,4	2,8	3,0	4,0	5,0	5,0	6,0	6,0
IT5	1,4	1,6	2,0	2,8	3,0	4,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	9,0
IT6	1,8	2,0	2,0	3,0	4,0	5,0	5,0	6,0	7,0	8,0	10	10	12
IT7	3,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	9,0	10	12	12	14	16	18
IT8	3,0	4,0	5,0	7,0	8,0	10	12	12	16	18	20	24	26
IT9	6	8	9	10	12	16	18	20	30	30	30	40	40
IT10	8	10	12	14	18	20	30	30	40	40	50	50	50
IT11	12	16	18	30	30	40	40	50	50	60	70	80	80
IT12	20	30	30	40	50	50	60	70	80	100	120	120	140
IT13	30	40	50	60	70	80	100	120	140	160	180	180	200
IT14	50	60	80	90	120	140	160	180	200	240	260	280	320
IT15	80	100	120	140	180	200	240	280	320	380	440	460	500
IT16	120	160	200	240	280	320	400	440	500	600	700	800	800
IT17	200	240	300	380	440	500	600	700	800	1000	1100	1200	1400

Примечания: 1. IT2; IT3 и т.д. – допуски соответственно 2-го, 3-го качества и т.д. по ГОСТ 25346-89.  
2. В таблице даны абсолютные значения допускаемой погрешности.

Указанные в табл. 1 пределы допускаемой погрешности измерения могут быть увеличены при уменьшении допуска на изготовление изделия на величину, соответствующую увеличению предела допускаемой погрешности, или при сортировке на размерные группы для сборки с групповой взаимозаменяемостью, если предел допускаемой погрешности выбирает по допуску на группу.

Арбитражная перепроверка принятых деталей не должна проводиться с погрешностью измерения, превышающей 30 % предела допускаемой погрешности при приемке. При этом среди принятых допускается наличие деталей с отклонениями, выходящими за приемочные границы на величину не более половины допускаемой погрешности измерения при приемке, до 5 % от перепроверяемой партии для 2 – 7-го качества; до 4 % – для 8, 9-го качества и до 3 % – для 10-го качества и грубее.

Допускаемая погрешность измерения ограничивает случайную и неучтенную систематическую составляющую погрешности измерения. При этом стандарт требует, чтобы случайная составляющая погрешности измерения не превышала 0,6 от предела допускаемой погрешности измерения. Эта величина принята исходя из предположения, что случайная составляющая погрешности измерения распределяется по нормальному закону, и достаточным является доверительная вероятность 0,954, т.е. диапазон  $\pm 2\sigma$ .

Размеры, точность и технические условия для *концевых мер* длины регламентированы ГОСТ 9038–90 (в ред. 1997 г.). Номинальные размеры концевых мер длины имеют градацию, которая позволяет составлять блоки с номинальными размерами через 0,001 мм. Точность изготовления концевых мер длины регламентирована классами точности 00, 01, 0, 1, 2, 3.

При составлении блоков возникает погрешность от притирки концевых мер. Эта погрешность (разброс размеров блока) в зависимости от квалификации контролера и состояния притираемых поверхностей составляет 0,05...0,1 мкм на один притирочный слой.

*Угловые меры* предизначены для измерения углов методом сравнения, поверки угломерных приборов и выпускаются по ГОСТ 2875–88 четырех типов: 1 – с одним рабочим углом со срезанной вершиной; 2 – с одним рабочим углом с острой вершиной; 3 – с четырьмя рабочими углами; 4 – правильная мно-

гогранная (*n*-гранная) призма. В отличие от концевых мер длины угловые меры при составлении их в блок не вносят существенных погрешностей в суммарный размер из-за влияния притирочных слоев.

Основой контрольно-измерительных приспособлений, полуавтоматических и автоматических систем измерения и контроля являются *измерительные преобразователи* с регистрирующими устройствами. В табл. 2 представлены значения основных параметров индуктивных и механотронного (мод. БВ-3040) преобразователей с показывающими приборами. Приборы мод. 212, 276, 217, 213 и 76500 могут использоваться как с одним, так и с двумя преобразователями. В последнем случае на шкале указывается сумма или разность измеряемых величин. Все приборы имеют выход на самописец. Приборы мод. 276 и 213 имеют формирователи команд. Для определения разности экстремальных значений измеряемой величины, т.е. для амплитудных измерений, применяется прибор мод. 281, который работает совместно с указанными в табл. 2 приборами. Прибор этой модели имеет 10 диапазонов показаний от 1 до 1500 мкм и применяется для измерения амплитуд, если измеряемая величина изменяется с частотой не более 20 Гц.

Для автоматической настройки нуля в индуктивных измерительных приборах может использоваться устройство мод. 282. Оно подключается к прибору вместо одного из преобразователей и обеспечивает компенсированное перемещение не менее  $\pm 50$  мкм с погрешностью компенсации не более 1,5 мкм. Измерительная система мод. 76500 с цифровым отсчетом имеет выход в коде 8 – 4 – 2 – 1 на цифропечатающую машину и аналоговый выход для работы с самописцем. Прибор мод. БВ-3040 имеет механотронный преобразователь с горизонтальным расположением.

В неавтоматических средствах контроля и измерения, а также в контрольных приспособлениях используют измерительные головки и индикаторы (табл. 3). Измерительная головка 10301, и индикатор ИРБ имеют угловое рабочее перемещение наконечника и могут использоваться при измерении в труднодоступных местах. К индикаторам выпускается набор принадлежностей для проверки правильности вращения деталей, для контроля деталей при их обработке, при проверке наладки станка, при монтажных и слесарно-сборочных работах.

145061

## 2. Приборы с индуктивными и механотроинным преобразователями

Модель	Пределы показаний, мкм	Цена деления, мкм	$\Delta_1$	$\Delta_2$	$d$ , мм	$P_n$ , Н
			деления шкалы			
212	$\pm 3; \pm 6$	0,1; 0,2	1	1	8h7	0,4
214	$\pm 15; \pm 30$	0,5; 1	1	—		
276	$\pm 60$	2	1	2		
217	$\pm 15; \pm 30; \pm 150;$ $\pm 300; \pm 1500$	0,5; 1; 5; 10; 50	1	2	28h7	1,2
213	$\pm 1; \pm 2; \pm 5;$ $\pm 10; \pm 25$	0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5	1	2	28h7	1,2
287	Табло: +90	10	0,5 мкм	—	—	0,4
76500	Диапазои шкалы:					
	10	0,2	1	—	8h7	1
	+9; 99	0,01	0,2 мкм	0,3 мкм		
+99,9	0,1	2 мкм	3 мкм			
БВ-3040	$\pm 5; \pm 25; \pm 50$	0,1; 0,5; 1	1	—	28h7	0,4

Для мод. 287 и 76500 указан шаг дискретности.

Примечание.  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$  – пределы допустимой абсолютной погрешности при использовании соответственно одного и двух преобразователей;  $d$  – присоединительный диаметр преобразователя.

## 3. Измерительные головки

Тип или модель	Цена деления, мкм	Пределы показаний, мкм	Допускаемая погрешность*1, мкм	Вариация показаний, мкм	$P_n$	$\delta P_n$
					Н	
<i>Измерительные пружинные головки (микрометры)</i>						
01ИГП	0,1	$\pm 4$	0,1 (30); 0,15	0,03	1,5	0,2
02ИГП	0,2	$\pm 6$	0,15(30); 0,2	0,06		
05ИГП	0,5	$\pm 15$	0,25 (30); 0,4	0,16		2
1ИГП	1,0	$\pm 30$	0,4 (30); 0,6	0,25		
2ИГП	2,0	$\pm 60$	0,8 (30); 1,2	0,50	3	0,5
5ИГП	5,0	$\pm 150$	2,0 (30); 3,0	1,25		
10ИГП	10	$\pm 300$	3(30); 5	2,5		3
01ИГПР	0,1	$\pm 4$	0,1 (30); 0,15	0,03		
02ИГПР	0,2	$\pm 6$	0,15 (30); 0,2	0,06	От 0 до 0,15	—
05ИГПР	0,5	+15	0,25 (30); 0,4	0,15		
01ИГПР	1,0	+30	0,4 (30); 0,6	0,25		

Продолжение табл. 3

Тип или модель	Цена деления, мкм	Пределы показаний, мкм	Допускаемая погрешность*1, мкм	Вариация показаний, мкм	$P_n$	$\delta P_n$
					H	
<i>Измерительные пружинные малогабаритные головки (микаторы)</i>						
02ИПМ	0,2	$\pm 10$	0,15(30); 0,3(60)	0,1	1	0,25
02ИПМУ					0,5	0,2
05ИПМ	0,5	$\pm 0,25$	0,15(30); 0,5(60)	0,16	1,5	0,3
05ИПМУ					0,5	0,2
1ИПМ	1,0	$\pm 50$	0,5(30); 1(60)	0,30	1,5	0,3
1ИПМУ					0,5	0,2
2ИПМ	2,0	$\pm 100$	1(30); 2(60)	0,7	1,5	0,3
<i>Измерительные рычажно-пружинные головки (миникаторы)</i>						
10301, 72*2	-	$\pm 80$	1(20); 2(40)	0,6	0,1	-
30*2		$\pm 40$	0,5(20); 1(40)	0,3	0,2	-
<i>Измерительные пружинно-оптические головки (оптикаторы)</i>						
01П	0,1	0...24	0,05(100); 0,1	0,03	1,5	0,3
15605		0...50	0,05(100); 0,2			0,4
02П	0,2	0...100	0,1(100); 0,2	0,06		0,3
15505			0,1(100); 0,4			0,4
05П	0,5	0...250	0,2(100); 0,4	0,15	0,5	
15405			0,25(100); 1,0		0,6	
1П	1,0		0,4(100); 0,8	0,3		0,5
<i>Измерительные рычажно-зубчатые головки</i>						
1ИГ	1	$\pm 50$	0,4(30); 0,7	0,2	1,5	0,5
2ИГ	2	$\pm 100$	0,8(30); 1,2	0,4		
<i>Индикаторы</i>						
1МИГ	1	$0...1 \cdot 10^3$	2 (1 об.); 2,5 (1 мм)	0,5	2	0,5
2МИГ	2	$0...2 \cdot 10^3$	3 (1 об.); 4 (1 мм)			
05205		4	$0...5 \cdot 10^3$	4 (1 об.); 5	1	1,5
05305	3 (1 об.); 4					
И42-2	10	$0...2 \cdot 10^3$	4 (0,1 мм); 12	3	1,5	0,4
И45РН		$0...5 \cdot 10^3$	Класс точности 0			
И41ОМ		$0...10 \cdot 10^3$	То же			
ИТ2-2		$0...2 \cdot 10^3$	- " -			
И425		$0...25 \cdot 10^3$	15 (1 мм); 32			
И450	$0...50 \cdot 10^3$	15 (1 мм); 48	5	2,5	1,8	

Окончание табл. 3

Тип или модель	Цена деления, мкм	Пределы показаний, мкм	Допускаемая погрешность* <sup>1</sup> , мкм	Вариация показаний, мкм	$P_n$	$\delta P_n$
					Н	
1И4С	100	0...5 · 10 <sup>3</sup>	6 (0,1 мм); 16	3	1,5	0,6
2И4С	10					
ИРБ		800	5 (0,1 мм); 10		2,5	6,0

\*<sup>1</sup> Первое значение относится к участку шкалы, длина которого дана в скобках в делениях шкалы, если не указана единица измерения, в оборотах (об.) или мм.

\*<sup>2</sup> Длина измерительного наконечника, мм.

#### 4. Приборы активного контроля

Прибор; станок	Контролируемый размер, мм	Цена деления, мкм	$\Delta$	$\delta$	$P_n$	Число команд	Диапазон показаний, мкм
			мкм				
БВ-4100; круглошлифовальный	2,5...200	1 5	1	0,3	6 ± 1 (8 ± 1)	2; 4	0...80 0...400
БВ-4066; плоскошлифовальный	До 400	2	2	2	6,3 ± 1	0; 2; 3	0...240
БВ-4102; плоскошлифовальный	До 150	—	—	2	8 ± 1	1	—
БВ-4116; торцешлифовальный	Не менее 1,5	1 5	1,5	1	4 ± 0,5	2; 4	0...400 0...800
БВ-4180; круглошлифовальный	5...145	0,5 1 5	0,25 0,25 1	0,5	4 ± 0,5 (6 ± 1)	2; 4	0...40 0...80 0...400
БВ-П6060; круглошлифовальный	2,5...200	0,5 1 2	0,5	0,3	6 ± 1 (8 ± 1)	2; 4	0...60 0...120 0...240

Условные обозначения.  $\Delta$  – предел допускаемой погрешности на участке шкалы ±10 делений от нуля;  $\delta$  – нестабильность срабатывания команд;  $P_n$  – измерительная сила.

Системы управления процессами обработки по измерительной информации предназначены для управления основным движением формообразования поверхности и корректирующими движениями. Управление основным движением осуществляется путем формирования команд на переключение с одного режима

обработки на другой и на прекращение обработки. В табл. 4 приведены основные характеристики типовых приборов активного контроля, предназначенных для управления шлифовальными станками. Все эти приборы автоматически измеряют отклонение размера в процессе обработки. Предел допускаемой по-

грешности  $\Delta$  и нестабильность срабатывания команд  $\delta$  являются характеристиками статической точности прибора, определенными вие станка. Точность управления приборами активного контроля в большей степени зависит от динамической погрешности измерения, изменения процесса формообразования (например, подачи), а также от температурной деформации детали и измерительной скобы. Применение блоков измерения действительной подачи с автоматическим корректированием команд управления в соответствии с отклонениями подачи существенно повышает точность высокопроизводительных процессов обработки. При некоторых схемах шлифования колец подшипников применяют приборы активного контроля с компенсацией температурной деформации обрабатываемых колец. Разработаны системы, в которых управление обеспечивается не только по отклонению размера обрабатываемой поверхности и его производных, но и по отклонению формы.

Системы могут работать с регуляторами, обеспечивающими корректирующие движения заготовки в процессе обработки. Диапазон регулирования определяется конструкцией регулятора. В частности, регуляторы с пьезокерамическими преобразователями  $\varnothing 20 \times 50$  могут обеспечить диапазон регулирования не менее

30 мкм с погрешностью регулирования 5 %. Эти системы могут использоваться и для управления по отклонению расположения.

### НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

ГОСТ 24643-81 устанавливает 16 степеней точности формы и расположения поверхностей. Допуски по этим степеням точности приведены в табл. 5 – 8. В практике установления требований к точности формы и расположения поверхностей используются и другие виды отклонений. К ним относятся: овальность, огранка, конусообразность, бочкообразность, седлообразность, вогнутость, выпуклость и др. Они являются частными видами соответствующих, указанных выше отклонений формы и расположения. Допуски на частные отклонения формы и расположения поверхностей – по таблицам допусков для соответствующих отклонений формы. Например, допуски овальности, конусообразности, бочкообразности и седлообразности выбирают по табл. 5. Количественно действительные значения этих отклонений определяют как полуразность соответствующих максимальных и минимальных диаметров.

#### 5. Допуски цилиндричности, круглости, профиля продольного сечения

Интервал номинальных диаметров, мм	Степень точности															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	мкм												мм			
До 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	0,08	0,12	0,2	0,3
Св. 3 до 10	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	20	40	60	0,1	0,16	0,25	0,4
» 10 » 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	0,12	0,2	0,3	0,5
» 18 » 30	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	0,16	0,25	0,4	0,6
» 30 » 50	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	0,2	0,3	0,5	0,8
» 50 » 120	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	0,25	0,4	0,6	1
» 120 » 250	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	0,3	0,5	0,8	1,2
» 250 » 400	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	0,4	0,6	1	1,6
» 400 » 630	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	0,5	0,8	1,2	2
» 630 » 1000	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	0,6	1	1,6	2,5
» 1000 » 1600	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	0,8	1,2	2	3
» 1600 » 2500	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1	1,6	2,5	4

## 6. Допуски плоскостности и прямолинейности

Интервал номинальных размеров, мм	Степень точности															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	мкм												мм			
До 10	0,25	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	0,06	0,1	0,16	0,25
Св. 10 до 16	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	0,08	0,12	0,2	0,3
» 16 » 25	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	0,1	0,16	0,25	0,4
» 25 » 40	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	0,12	0,2	0,3	0,5
» 40 » 63	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	0,16	0,25	0,4	0,6
» 63 » 100	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	0,2	0,3	0,5	0,8
» 100 » 160	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	0,25	0,4	0,6	1
» 160 » 250	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	0,3	0,5	0,8	1,2
» 250 » 400	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	0,4	0,6	1	1,6
» 400 » 630	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	0,5	0,8	1,2	2
» 630 » 1000	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	0,6	1	1,6	2,5
» 1000 » 1600	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	0,8	1,2	2	3
» 1600 » 2500	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1	1,6	2,5	4

7. Допуски параллельности, перпендикулярности, наклона,  
торцового бienia и полиого торцового бienia

Интервал номинальных размеров, мм	Степень точности															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	мкм												мм			
До 10	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	0,1	0,16	0,25	0,4
Св. 10 до 16	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	0,12	0,2	0,3	0,5
» 16 » 25	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	0,16	0,25	0,4	0,6
» 25 » 40	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	0,2	0,3	0,5	0,8
» 40 » 63	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	0,25	0,4	0,6	1
» 63 » 100	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	0,3	0,5	0,8	1,2
» 100 » 160	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	0,4	0,6	1	1,6
» 160 » 250	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	0,5	0,8	1,2	2
» 250 » 400	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	0,6	1	1,6	2,5
» 400 » 630	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	0,8	1,2	2	3
» 630 » 1000	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1	1,6	2,5	4
» 1000 » 1600	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	800	1,2	2	3	5
» 1600 » 2500	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000	1,6	2,5	4	6

## 8. Допуски радиального биения и полного радиального биения.

## Допуски соосности, симметричности, пересечения осей в диаметральном выражении

Интервал номинальных размеров, мм	Степень точности															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	мкм												мм			
До 3	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	0,2	0,3	0,5	0,8
Св. 3 до 10	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	0,25	0,4	0,6	1
» 10 » 18	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	0,3	0,5	0,8	1,2
» 18 » 30	1,5	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	0,4	0,6	1	1,6
» 30 » 50	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	0,5	0,8	1,2	2
» 50 » 120	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	0,6	1	1,6	2,5
» 120 » 250	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	0,8	1,2	2	3
» 250 » 400	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1	1,6	2,5	4
» 400 » 630	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	800	1,2	2	3	5
» 630 » 1000	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000	1,6	2,5	4	6
» 1000 » 1600	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	800	1200	2	3	5	8
» 1600 » 2500	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000	1600	2,5	4	6	10

## 9. Допуски формы цилиндрических поверхностей в зависимости от качества

Квалитет	Относительная геометрическая точность			Квалитет	Относительная геометрическая точность		
	A	B	C		A	B	C
	Степень точности формы по табл. 5				Степень точности формы по табл. 5		
4	3	2	1	9	8	7	6
5	4	3	2	10	9	8	7
6	5	4	3	11	10	9	8
7	6	5	4	12	11	10	9
8	7	6	5				

В зависимости от качества для цилиндрических поверхностей установлена относительная геометрическая точность (табл. 9): А – нормальная; В – повышенная; С – высокая.

Обозначения на чертежах допусков формы и расположения поверхностей устанавливает ГОСТ 2.308–79 (в ред. 1984 г.).

*Зависимый допуск* — переменный допуск расположения или формы, который допускается превышать на величину, соответствующую отклонению действительного размера поверх-

ности детали от проходного предела (наибольшего вала или наименьшего отверстия).

Отклонение формы измеряется как на специальных измерительных приборах, так и на приспособлениях с использованием универсальных средств измерений.

Специальные средства измерений, как правило, обеспечивают высокую точность измерений. К таким средствам относятся кругломеры. Радиальная погрешность кругломеров 1-го класса – 0,05 мкм, а 5-го класса – 0,8 мкм.



Некоторые типы кругломеров позволяют измерять отклонение от прямолинейности образующей. Аналогичные приборы имеются и для контроля отклонения от прямолинейности плоских поверхностей. Для контроля овальности, огранки, конусообразности, бочкообразности, седлообразности, выпуклости, вогнутости можно использовать универсальные средства измерений, в частности, с использованием показывающих приборов с двумя индуктивными преобразователями (см. табл. 2), позволяющими автоматически определять разность диаметров или разность отклонений от установленной плоскости в двух точках.

## ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ

Под шероховатостью поверхности (рис. 2) понимается совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами, выделенная с помощью базовой длины  $l$ .

В отличие от отклонений формы поверхности и волнистости, к шероховатости относят отклонения поверхности, для которых выполняется условие:  $S/R \leq 50$ , где  $R$  – высота профиля;  $S$  – средний шаг местных выступов профиля.

**Базовая длина  $l$**  – длина базовой линии, используемая для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхности. **Базовая линия (поверхность)** – линия (поверхность) заданной геометрической формы, определенным образом проведенная относительно профиля поверхности и служащая для оценки геометрических параметров поверхности.

**Среднее арифметическое отклонение профиля  $R_a$**  – среднее арифметическое абсо-

лютих значений отклонений профиля в пределах базовой длины

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx$$

или приближенно

$$R_a \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|,$$

где  $n$  – число выбранных точек профиля на базовой длине;  $l$  – базовая длина.

**Высота неровностей профиля по десяти точкам  $R_z$**  – сумма средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и глубин пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}|}{5},$$

где  $y_{pi}$  – высота  $i$ -го наибольшего выступа профиля;  $y_{vi}$  – глубина  $i$ -й наибольшей впадины профиля.

**Наибольшая высота  $R_{max}$  профиля** – расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины.

**Средний шаг  $S_m$  неровностей профиля** – среднее значение шага неровностей профиля в пределах базовой длины.

**Средний шаг  $S$  местных выступов профиля** – среднее значение шага местных выступов профиля в пределах базовой длины.

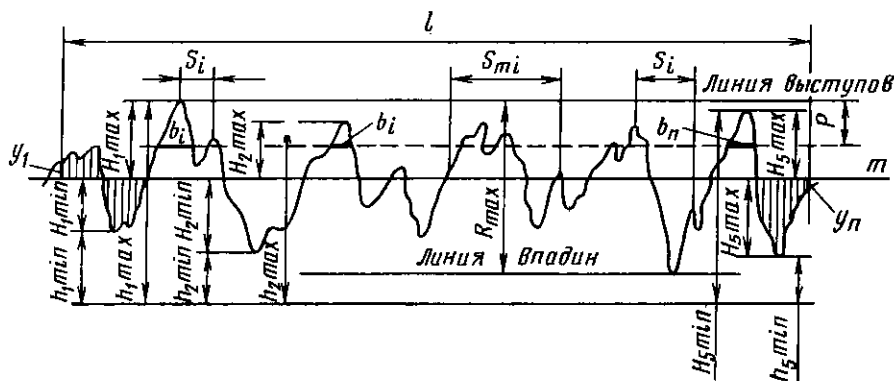


Рис. 2. Параметры, характеризующие шероховатость поверхности ( $H_i \max = y_{pi}$ ;  $H_i \min = y_{vi}$ )

Относительная опорная длина профиля  $t_p$  – отношение опорной длины профиля к базовой длине  $l$

$$t_p = \frac{\sum_{i=1}^n b_i}{l} = \frac{\eta_p}{l}$$

Опорная длина профиля  $\eta_p$  – сумма длин отрезков, отсекаемых на заданном уровне в

материале профиля линией, эквидистантной средней линии в пределах базовой длины.

Уровень сечения профиля  $p$  – расстояние между линией выступов профиля и линией, перескающей профиль эквидистантно линии выступов профиля.

Допускаемые значения параметров шероховатости выбираются по табл. 10 – 12.

### 10. Среднее арифметическое отклонение профиля $R_a$ , мкм

100	10	1,00	<b>0,100</b>	0,010
80	8,0	<b>0,80</b>	0,080	0,008
63	<b>6,3</b>	0,63	0,063	–
50	5,0	0,50	<b>0,050</b>	–
40	4,0	<b>0,40</b>	0,040	–
32	<b>3,2</b>	0,32	0,032	–
<b>25</b>	2,5	0,25	<b>0,025</b>	–
20	2,0	<b>0,20</b>	0,020	–
16	<b>1,6</b>	0,16	0,016	–
12,5	1,25	0,125	<b>0,012</b>	–

Примечание. Предпочтительные значения параметров выделены.

### 11. Высота неровностей профиля по десяти точкам $R_z$ и наибольшая высота неровностей профиля $R_{max}$ , мкм

–	1000	<b>100</b>	10,0	1,00	<b>0,100</b>
–	800	80	8,0	0,80	0,080
–	630	63	<b>6,3</b>	0,63	0,063
–	500	<b>50</b>	5,0	0,50	<b>0,050</b>
–	<b>400</b>	40	4,0	<b>0,40</b>	0,040
–	320	32	3,2	0,32	0,032
–	250	<b>25</b>	2,5	0,25	<b>0,025</b>
–	<b>200</b>	20	2,0	<b>0,20</b>	–
1600	160	16	1,6	0,160	–
1250	125	<b>12,5</b>	1,25	0,0125	–

Примечание. Предпочтительные значения параметров выделены.

### 12. Средний шаг неровностей $S_m$ и средний шаг неровностей по вершинам $S_v$ , мм

–	10,0	1,00	0,100	0,010
–	8,0	0,80	0,080	0,008
–	6,3	0,63	0,063	0,006
–	5,0	0,50	0,050	0,005
–	4,0	0,40	0,040	0,004
–	3,2	0,32	0,032	0,003
–	2,5	0,25	0,025	0,002
–	2,0	0,20	0,020	–
–	1,60	0,160	0,0160	–
12,5	1,25	0,125	0,0125	–

Относительная опорная длина профиля  $t_p$ : 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90 %.

Числовые значения уровня сечения профиля  $p$  выбирают из ряда 5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90 % от  $R_{\max}$ .

Числовые значения базовой длины  $l$  выбирают из ряда: 0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,80; 2,5; 8; 25 мм.

В обозначении шероховатости поверхности, вид обработки которой конструктор не устанавливает, применяют знак  $\sqrt{\quad}$  (с 01.01.2005 г. —  $\sqrt{\quad}$ ). В обозначении шероховатости поверхности, которая должна быть образована удалением слоя материала, применяют знак  $\sqrt{\quad}$  ( $\sqrt{\quad}$ ). В обозначении шероховатости поверхности, которая должна быть образована без удаления слоя материала, применяют знак  $\sqrt{\quad}$  ( $\sqrt{\quad}$ ). Значение параметра шероховатости указывают в обозначении шероховатости: для параметра  $R_a$  без символа, для остальных параметров — после соответствующих символов (например:  $1,25/\sqrt{\quad}$ ;  $Rz\ 1,6/\sqrt{\quad}$ ). С 01.01.2005 г. значение параметра шероховатости указывается в обозначении шероховатости (например:  $\sqrt{Ra\ 1,25}$ ;  $\sqrt{Rz\ 1,6}$ ).

Кроме рассмотренных параметров ГОСТ 25142–82 устанавливает дополнительные параметры:

*среднее квадратическое отклонение профиля*

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l y^2(x) dx};$$

*средний квадратический наклон профиля*

$$\Delta q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 dx};$$

*средний арифметический наклон профиля*

$$\Delta a = \frac{1}{l} \int_0^l \left| \frac{dy}{dx} \right| dx.$$

Шероховатость поверхности контролируют специализированными приборами.

## ДОПУСКИ ГЛАДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ СОЕДИНЕНИЙ

Для гладких элементов деталей система допусков и посадок регламентирована ГОСТ 25346–89 "Единая система допусков и посадок. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений" и ГОСТ 25347–82 (в ред. 1990 г.) "Единая система допусков и

посадок. Поля допусков и рекомендуемые посадки". Эти стандарты распространяются на размеры до 3150 мм. ГОСТ 25348–82 (в ред. 1990 г.) распространяется на размеры от 3150 мм до 10 000 мм. Значения допусков по ГОСТ 25346–89 нормированы 20 квалитетами (рядами допусков): 01; 0; 1; 2; ...; 18 (табл. 13). Квалитеты перечислены в порядке убывания точности. В технической документации квалитеты обозначают соответственно: IT01; IT0; IT1; IT2; ...; IT17; IT18. Система применяется тогда, когда нормы точности не установлены другими стандартами.

Для образования посадок с различными зазорами и натягами в ЕСДП предусмотрено по 28 вариантов *основных отклонений* валов и отверстий (табл. 14). Основное отклонение — наименьшее по абсолютной величине предельное отклонение, используемое для определения положения поля допуска относительно номинального размера, соответствующего нулевому отклонению. Значения основных отклонений отверстий (обозначены A, B, C, ...) и валов (обозначены a, b, c, ...), которые могут использоваться при образовании рекомендуемых и предпочтительных посадок, приведены в табл. 14.

Предпочтительными из рекомендуемых являются следующие поля допусков: d9, d10, e8, f7, g6, h6, ..., h11, js6, k6, n6, p5, r6, s6, E9, F8, H7, H8, H9, H11, Js7, K7, N7, P7.

Рекомендуемые поля допусков: все поля допусков с осевыми отклонениями H, h, Js(js), a11, b11, b12, c8, c11, d8, d10, e7, e9, f6, f8, f9, g4, g5, k4, ..., k7, m4, ..., m7, n4, n5, n7, p5, r5, s5, s7, t6, u7, u8, x8, z8; A11, B11, B12, C11, D8, ..., D11, E8, F7, F9, G5, G6, G7, k5, k6, k8, M5, ..., M8, N5, N6, N8, P6, R7, S7, T7, U8.

При обозначении посадок в числителе указывают поле допуска отверстия, а в знаменателе — поле допуска вала. Например,  $\varnothing 40H7/g6$  — соединение диаметром 40 мм, основное отклонение отверстия H, квалитет точности отверстия 7, основное отклонение вала g, квалитет точности вала 6. На отдельных деталях указывают поле допуска этой детали. Например,  $\varnothing 40g6$  — вал с номинальным диаметром 40 мм, основное отклонение g, квалитет точности 6. Предельные отклонения могут указываться с условным обозначением, например,  $\varnothing 40g6 \begin{pmatrix} -0,009 \\ -0,025 \end{pmatrix}$ , или без него, например  $\varnothing 40 \begin{pmatrix} -0,009 \\ -0,025 \end{pmatrix}$ . Значения предельных отклонений могут указываться и при обозначении посадок в скобках за условным обозначением.

## 13. Числовые значения допусков

Интервал номинальных размеров, мм	Квалитет																			
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Свыше	мм																			
До	мкм																			
3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0,10	0,14	0,25	0,40	0,60	1,00	1,40
6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	0,12	0,18	0,30	0,48	0,75	1,20	1,80
10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	0,15	0,22	0,36	0,58	0,90	1,50	2,20
18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0,18	0,27	0,43	0,70	1,10	1,80	2,70
30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0,21	0,33	0,52	0,84	1,30	2,10	3,30
50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0,25	0,39	0,62	1,00	1,60	2,50	3,90
80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0,30	0,46	0,74	1,20	1,90	3,00	4,60
120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0,35	0,54	0,87	1,40	2,20	3,50	5,40
180	1,2	2	2,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0,40	0,63	1,00	1,60	2,50	4,00	6,30
250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0,46	0,72	1,15	1,85	2,90	4,60	7,20
315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0,52	0,81	1,30	2,10	3,20	5,20	8,10
400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0,57	0,89	1,40	2,30	3,60	5,70	8,90
500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0,63	0,97	1,55	2,50	4,00	6,30	9,70
630	4,5	6	9	11	16	22	30	44	70	110	175	280	440	0,70	1,10	1,75	2,80	4,40	7,00	11,00
800	5	7	10	13	18	25	35	50	80	125	200	320	500	0,80	1,25	2,00	3,20	5,00	8,00	12,50
1000	5,5	8	11	15	21	29	40	56	90	140	230	360	560	0,90	1,40	2,30	3,60	5,60	9,00	14,00
1250	6,5	9	13	18	24	34	46	66	105	165	260	420	660	1,05	1,65	2,60	4,20	6,60	10,50	16,50
1600	8	11	15	21	29	40	54	78	125	195	310	500	780	1,25	1,95	3,10	5,00	7,80	12,50	19,50
2000	9	13	18	25	35	48	65	92	150	230	370	600	920	1,50	2,30	3,70	6,00	9,20	15,00	23,00
2500	11	15	22	30	41	57	77	110	175	280	440	700	1100	1,75	2,80	4,40	7,00	11,00	17,50	28,00
3150	13	18	26	36	50	69	93	135	210	330	540	860	1350	2,10	3,30	5,40	8,60	13,50	21,00	33,00

Примечание. Для размеров менее 1 мм квалитеты от 14 до 18 не применяются.

## 14. Основные отклонения и поправки к основным отклонениям K, M, N (до 8-го качества) и от P до ZC (до 7-го качества), мкм

Интервал размеров, мм	es со знаком «+»										ei со знаком «-»																							
	c	cd	d	e	f	g	k*	m	n	p	r	s	t	u	v	C	CD	D	E	F	G	K*	M	N	P	R	S	T	U	V				
	EI со знаком «+»																ES со знаком «-»																	
До 3	60	34	20	14	6	2	0	2	4	6	10	14	18	23	28	33	39	60	34	20	14	6	2	0	2	4	6	10	14	18	23	28	33	39
Св. 3 до 6	70	46	30	20	10	4	1	4	8	12	15	19	23	28	35	41	47	70	46	30	20	10	4	1	4	8	12	15	19	23	28	35	41	47
» 6 » 10	80	56	40	25	13	5	1	6	10	15	19	23	28	35	41	48	55	80	56	40	25	13	5	1	6	10	15	19	23	28	35	41	48	55
» 10 » 14	95	-	50	32	16	6	1	7	12	18	23	28	35	41	48	55	95	-	50	32	16	6	1	7	12	18	23	28	35	41	48	55		
» 14 » 18	110	-	65	40	20	7	2	8	15	22	28	35	41	48	55	110	-	65	40	20	7	2	8	15	22	28	35	41	48	55				
» 18 » 24	120	-	80	50	25	9	2	9	17	26	34	43	54	60	68	120	-	80	50	25	9	2	9	17	26	34	43	54	60	68				
» 24 » 30	130	-	100	60	30	10	2	11	20	32	43	59	75	102	120	130	-	100	60	30	10	2	11	20	32	43	59	75	102	120				
» 30 » 40	140	-	120	72	36	12	3	13	23	37	51	71	104	146	172	140	-	120	72	36	12	3	13	23	37	51	71	104	146	172				
» 40 » 50	150	-	145	85	43	14	3	15	27	43	63	92	122	170	202	150	-	145	85	43	14	3	15	27	43	63	92	122	170	202				
» 50 » 65	170	-	170	100	50	15	4	17	31	50	77	122	166	236	284	170	-	170	100	50	15	4	17	31	50	77	122	166	236	284				
» 65 » 80	180	-	170	100	50	15	4	17	31	50	80	130	180	258	310	180	-	170	100	50	15	4	17	31	50	80	130	180	258	310				
» 80 » 100	200	-	170	100	50	15	4	17	31	50	84	140	196	284	340	200	-	170	100	50	15	4	17	31	50	84	140	196	284	340				
» 100 » 120	210	-	170	100	50	15	4	17	31	50	84	140	196	284	340	210	-	170	100	50	15	4	17	31	50	84	140	196	284	340				
» 120 » 140	230	-	170	100	50	15	4	17	31	50	84	140	196	284	340	230	-	170	100	50	15	4	17	31	50	84	140	196	284	340				
» 140 » 160	240	-	170	100	50	15	4	17	31	50	84	140	196	284	340	240	-	170	100	50	15	4	17	31	50	84	140	196	284	340				
» 160 » 180	260	-	170	100	50	15	4	17	31	50	84	140	196	284	340	260	-	170	100	50	15	4	17	31	50	84	140	196	284	340				
» 180 » 200	280	-	170	100	50	15	4	17	31	50	84	140	196	284	340	280	-	170	100	50	15	4	17	31	50	84	140	196	284	340				
» 200 » 225	280	-	170	100	50	15	4	17	31	50	84	140	196	284	340	280	-	170	100	50	15	4	17	31	50	84	140	196	284	340				
» 225 » 250	280	-	170	100	50	15	4	17	31	50	84	140	196	284	340	280	-	170	100	50	15	4	17	31	50	84	140	196	284	340				

Продолжение табл. 14

Интервал размеров, мм	ES со знаком «←→»										ei со знаком «←→»																			
	c	cd	d	e	f	g	k <sup>+</sup>	m	n	p	r	s	t	u	v	C	CD	D	E	F	G	K <sup>+</sup>	M	N	P	R	S	T	U	V
	EI со знаком «←→»																													
» 250 » 280	300	-	190	110	56	17	4	20	34	56	94	158	218	315	385	300	-	190	110	56	17	4	20	34	56	94	158	218	315	385
» 280 » 315	330	-	210	125	62	18	4	21	37	62	108	190	268	390	475	330	-	210	125	62	18	4	21	37	62	108	190	268	390	475
» 315 » 355	440	-	230	135	68	20	5	23	40	68	126	232	330	490	595	440	-	230	135	68	20	5	23	40	68	126	232	330	490	595
» 355 » 400	480	-	260	145	76	22	0	26	44	76	150	280	400	600	660	480	-	260	145	76	22	0	26	44	76	150	280	400	600	660
» 400 » 450	520	370	290	160	80	24	0	30	50	88	175	340	500	740	920	520	370	290	160	80	24	0	30	50	88	175	340	500	740	920
» 450 » 500	580	390	320	170	86	26	0	34	56	100	210	430	620	940	1150	580	390	320	170	86	26	0	34	56	100	210	430	620	940	1150
» 500 » 560	640	430	350	195	98	28	0	40	66	120	250	520	780	1150	1450	640	430	350	195	98	28	0	40	66	120	250	520	780	1150	1450
» 560 » 630	700	450	390	220	110	30	0	48	78	140	300	640	960	1450	1800	700	450	390	220	110	30	0	48	78	140	300	640	960	1450	1800
» 630 » 710	780	500	430	240	120	32	0	58	92	170	370	820	1200	1850	2300	780	500	430	240	120	32	0	58	92	170	370	820	1200	1850	2300
» 710 » 800	860	520	480	260	130	34	0	68	110	195	440	1000	1500	2000	2500	860	520	480	260	130	34	0	68	110	195	440	1000	1500	2000	2500
» 800 » 900	940	580	500	290	145	38	0	76	135	240	550	1250	1900	2600	3100	940	580	500	290	145	38	0	76	135	240	550	1250	1900	2600	3100
» 900 » 1000	1050	600	520	320	160	42	0	84	150	280	660	1400	2100	2800	3500	1050	600	520	320	160	42	0	84	150	280	660	1400	2100	2800	3500
» 1000 » 1120	1150	660	560	350	170	46	0	92	165	320	780	1600	2300	3000	3900	1150	660	560	350	170	46	0	92	165	320	780	1600	2300	3000	3900
» 1120 » 1250	1300	720	620	390	190	50	0	100	180	360	900	1800	2600	3400	4300	1300	720	620	390	190	50	0	100	180	360	900	1800	2600	3400	4300
» 1250 » 1400	1450	800	700	430	210	54	0	110	200	400	1050	2000	2900	3800	4800	1450	800	700	430	210	54	0	110	200	400	1050	2000	2900	3800	4800
» 1400 » 1600	1600	880	780	470	230	58	0	120	220	440	1200	2200	3200	4200	5200	1600	880	780	470	230	58	0	120	220	440	1200	2200	3200	4200	5200
» 1600 » 1800	1800	920	820	250	250	62	0	130	240	480	1350	2400	3400	4400	5400	1800	920	820	250	250	62	0	130	240	480	1350	2400	3400	4400	5400
» 1800 » 2000	2000	980	880	270	270	66	0	140	260	520	1500	2600	3600	4600	5600	2000	980	880	270	270	66	0	140	260	520	1500	2600	3600	4600	5600
» 2000 » 2240	2200	1050	950	290	290	70	0	150	280	560	1650	2800	3800	4800	5800	2200	1050	950	290	290	70	0	150	280	560	1650	2800	3800	4800	5800
» 2240 » 2500	2500	1150	1050	310	310	74	0	160	300	600	1800	3000	4000	5000	6000	2500	1150	1050	310	310	74	0	160	300	600	1800	3000	4000	5000	6000
» 2500 » 2800	2800	1250	1150	330	330	78	0	170	320	640	1950	3200	4200	5200	6200	2800	1250	1150	330	330	78	0	170	320	640	1950	3200	4200	5200	6200
» 2800 » 3150	3150	1350	1250	350	350	82	0	180	340	680	2100	3400	4400	5400	6400	3150	1350	1250	350	350	82	0	180	340	680	2100	3400	4400	5400	6400



Окончание табл. 14

Интервал размеров, мм	es со знаком «←»				ei со знаком «→»						Поправка Δ																											
	a* <sup>2</sup>	b* <sup>2</sup>	—	j* <sup>3</sup>	x	y	z	za	zb	zc	Квалитет																											
											ES со знаком «←»								3				4				5				6				7			
	EI со знаком «→»				—	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC	4								5				6				7				8						
A* <sup>2</sup>	B* <sup>2</sup>	J* <sup>3</sup>	X	Y								Z	ZA	ZB	ZC	4				5				6				7				8						
» 250 » 280	920	480	25	36	55	16	26	475	580	710	920	1200	1550	1700	3	4	5	6	7	8	3	4	5	6	7	8	3	4	5	6	7	8						
	1050	540						525	650	790	1000	1300	1700																									
» 315 » 355	1200	600	29	39	60	18	28	590	730	900	1150	1500	1900	2100	4	5	6	7	8	4	5	6	7	8	4	5	6	7	8	4	5	6	7	8				
	1350	680						660	820	1000	1300	1650	2100																									
» 400 » 450	1500	760	33	43	66	20	32	740	920	1100	1450	1850	2400	2600	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6	7	8
	1650	840						820	1000	1250	1600	2100	2600																									

\*<sup>1</sup> В таблице значения отклонений k и K указаны для квалитетов от 4 до 7. Отклонение в квалитетах до 3-го и св. 7-го, K (в интервале до 3 мм) и N св. 8-го квалитета равны 0 (кроме N в интервале до 3 мм, где ES = -4 мкм).

\*<sup>2</sup> Отклонения a, b, A и B не предусмотрены для размеров до 1 мм.

\*<sup>3</sup> Значения отклонений j в первом столбце для квалитетов 5 и 6, а во втором для 7-го квалитета (для 8-го предусмотрено отклонение ei = -6 мкм только для интервала до 3 мм). Значения отклонений J в первом столбце для 6-го квалитета, во втором для 7-го и в третьем для 8-го.

Примечания: 1. Отклонения e(EF) и fg(FG) предусмотрены только для интервалов до 3; св. 3 до 6; св. 6 до 10, где они соответственно равны для e(EF) 10; 14 и 18 мкм, а для fg(FG) 4; 6 и 8 мкм.

2. Для определения значений отклонения K, M и N до 8-го квалитета (вкл.) и от P до ZC до 7-го квалитета к указанным в таблице отклонениям следует прибавить соответствующие значения поправок (Δ). Отклонения N для размеров до 1 мм в квалитетах до 8-го не предусмотрены.

3. Частный случай: основное отклонение поля допуска M6 для размеров св. 250 до 315 мм ES = -9 мкм (но не 11); поля допусков M8 и m7 предусмотрены только для размеров свыше 3 мм.

4. Основные отклонения i: es = 0; H; EI = 0; js(JS) = 0, где et = 0, где et — среднее отклонение и для квалитетов от 7-го до 11-го соответствующие значения верхних и нижних отклонений могут округляться до целого.



### ДОПУСКИ УГЛОВ. ДОПУСКИ И ПОСАДКИ КОНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Допуски на углы конусов и призматических элементов деталей с длиной меньшей стороны угла до 2500 мм приведены в табл. 15. Предельные отклонения могут быть как +AT или - AT, так и  $\pm AT/2$ .

Значение допуска угла в линейных единицах, отнесенное к большему диаметру  $D$ ,

$$AT_D = AT_\alpha L_1 \cdot 10^{-3} / (\cos \alpha / 2),$$

где  $AT_D$  — в мкм;  $AT_\alpha$  — в мкррад,  $L_1$  — длина образующей конуса, мм.

Пример обозначения допуска угла на чертеже: AT8, где 8 — степень точности.

Система допусков для конических поверхностей предусматривает: допуск диаметра в любом сечении конуса  $T_D$  или допуск диаметра в заданном сечении конуса  $T_{D_S}$ ; допуск угла конуса AT; допуск формы конуса  $T_F$ . Допуски  $T_D$  и  $T_{D_S}$  назначаются аналогично допускам на гладкие цилиндрические поверхности и должны приниматься по табл. 13. При этом числовые значения  $T_D$  выбирают для номинального диаметра большего основания конуса  $D$ , а числовые значения  $T_{D_S}$  — по номинальному диаметру заданного сечения  $D_S$ . Для конических соединений предназначены следующие поля допусков (см. табл. 13 и 14): H01, ..., H17, Js01, ..., Js17, N9, d8, d9, e7, e8, e9, f6, ..., f9, g4, g5, g6, h01, ..., h17, js01, ..., js17, k4, ..., k7, m4, ..., m7, n4, ..., n7, p5, p6, r5, r6, s5, s6, s7, t6, u7, u8, x8, z8. В обоснованных случаях стандарт

допускает применение других полей допусков, предусмотренных для гладких цилиндрических соединений (ГОСТ 25346-89), а также дополнительных k8, ..., k12, N10, ..., N12. Для значений  $D$  и  $D_S$  до 3 мм вместо полей N9, ..., N12 предусмотрены поля K9, ..., K12.

Если непосредственно назначается допуск угла конуса, то он должен соответствовать табл. 15.

### ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Для метрической резьбы с зазором (ГОСТ 16093-81) установлены основные отклонения для  $d$  и  $d_2$  наружной резьбы: h, g, f, e, d и для  $D_1$  и  $D_2$  внутренней резьбы: H, G, F и E. При отклонениях H/h создается посадка с наименьшим зазором, равным нулю. При остальных отклонениях создаются посадки с зазором, большим нуля. Отклонения E и F применяют только при значительных толщинах слоя защитного покрытия. Числовые значения основных отклонений приведены в табл. 16. Установлены следующие степени точности: для  $d$  — 4, 6, 8; для  $d_2$  — 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10\*; для  $D_2$  — 4, 5, 6, 7, 8, 9\*; для  $D_1$  — 4, 5, 6, 7, 8. Степени точности, отмеченные звездочкой, — только для резьб на деталях из пластмасс. Установлены короткие S, нормальные N и длинные L длины свинчивания. Числовые значения допусков  $T_D$  и  $T_{D_1}$  приведены в табл. 17, а числовые значения допусков  $T_{d_2}$  и  $T_{D_2}$  — в табл. 18.

15. Допуски углов AT<sub>α</sub>, мкррад

Длина, мм	Степень точности								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
До 10	50	80	125	200	315	500	800	1250	2000
Св. 10 до 16	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600
» 16 » 25	31,5	50	80	125	200	315	500	800	1250
» 25 » 40	25	40	63	100	160	250	400	630	1000
» 40 » 63	20	31,5	50	80	125	200	315	500	800
» 63 » 100	16	25	40	63	100	160	250	400	630
» 100 » 160	12,5	20	31,5	50	80	125	200	315	500
» 160 » 250	10	16	25	40	63	100	160	250	400
» 250 » 400	8	12,5	20	31,5	50	80	125	200	315
» 400 » 630	6,3	10	16	25	40	63	100	160	250

## 16. Основные отклонения диаметров резьбы

Шаг $P$ , мм	Наружная резьба $d_1, d_2$					Внутренняя резьба $D_1, D_2$			
	Основные отклонения, мкм								
	es					EI			
	d	e	f	g	h	E	F	G	H
0,2	-	-	-32	-17	0	-	+32	+17	0
0,25	-	-	-33	-18	0	-	+33	+18	0
0,3	-	-	-33	-18	0	-	+33	+18	0
0,35	-	-	-34	-19	0	-	+34	+19	0
0,4	-	-	-34	-19	0	-	+34	+19	0
0,45	-	-	-35	-20	0	-	+35	+20	0
0,5	-	-50	-36	-20	0	+50	+36	+20	0
0,6	-	-53	-36	-21	0	+53	+36	+21	0
0,7	-	-56	-38	-22	0	+56	+38	+22	0
0,75	-	-56	-38	-22	0	+56	+38	+22	0
0,8	-	-60	-38	-24	0	+60	+38	+24	0
1	-90	-60	-40	-26	0	+60	+40	+26	0
1,25	-95	-63	-42	-28	0	+63	+42	+28	0
1,5	-95	-67	-45	-32	0	+67	+45	+32	0
1,75	-100	-71	-48	-34	0	+71	+48	+34	0
2	-100	-71	-52	-38	0	+71	+52	+38	0
2,5	-106	-80	-58	-42	0	+80	-	+42	0
3	-112	-85	-63	-48	0	+85	-	+48	0

## 17. Допуски наружного и внутреннего диаметров резьбы, мкм

Шаг $P$ , мм	Наружная резьба			Внутренняя резьба		
	Степень точности					
	4	6	8	4	5	6
	$T_d$			$T_{D_1}$		
0,2	36	56	-	38	48	60
0,25	42	67	-	45	56	71
0,3	48	75	-	53	67	85
0,35	53	85	-	63	80	100
0,4	60	95	-	71	90	112
0,45	63	100	-	80	100	125
0,5	67	106	-	90	112	140
0,6	80	125	-	100	125	160
0,7	90	140	-	112	140	180
0,75	90	140	-	118	150	190
0,8	95	150	236	125	160	200
1	112	180	280	150	190	236
1,25	132	212	335	170	212	265
1,5	150	236	375	190	236	300
1,75	170	265	425	212	265	335
2	180	280	450	236	300	375
2,5	212	335	530	280	355	450
3	236	375	600	315	400	500

## 18. Допуски среднего диаметра резьбы, мкм

Номинальный диаметр $d$ , мм	Шаг $P$ , мм	Наружная резьба						Внутренняя резьба				
		Степень точности										
		3	4	5	6	7	8	4	5	6	7	8
		$T_{d_2}$						$T_{D_2}$				
Св. 1,4 до 2,8	0,2	25	32	40	50	(63)	(80)	42	53	67	—	—
	0,25	28	36	45	56	(71)	(90)	48	60	75	—	—
	0,35	32	40	50	63	80	(100)	53	67	85	—	—
	0,4	34	42	53	67	85	(106)	56	71	90	—	—
	0,45	36	45	56	71	90	(112)	60	75	95	—	—
Св. 2,8 до 5,6	0,25	28	36	45	56	(71)	—	48	60	75	—	—
	0,35	34	42	53	67	85	(106)	56	71	90	—	—
	0,5	38	48	60	75	95	(118)	63	80	100	125	—
	0,6	42	53	67	85	106	(132)	71	90	112	140	—
	0,7	45	56	71	90	112	(140)	75	95	118	150	—
	0,75	45	56	71	90	112	(140)	75	95	118	150	—
	0,8	48	60	75	95	118	150	80	100	125	160	—
Св. 5,6 до 11,2	0,25	32	40	50	63	(80)	—	53	67	85	—	—
	0,35	36	45	56	71	90	—	60	75	95	—	—
	0,5	42	53	67	85	106	(132)	71	90	112	140	—
	0,75	50	63	80	100	125	(160)	85	106	132	170	—
	1	56	71	90	112	140	180	95	118	150	190	236
	1,25	60	75	95	118	150	190	100	125	160	200	250
	1,5	67	85	106	132	170	212	112	140	180	224	280
Св. 11,2 до 22,4	0,35	38	48	60	75	95	—	63	80	100	—	—
	0,5	45	56	71	90	112	(140)	75	95	118	150	—
	0,75	53	67	85	106	132	(170)	90	112	140	180	—
	1	60	75	95	118	150	190	100	125	160	200	250
	1,25	67	85	106	132	170	212	112	140	180	224	280
	1,5	71	90	112	140	180	224	118	150	190	236	300
	1,75	75	95	118	150	190	236	125	160	200	250	315
	2	80	100	125	160	200	250	132	170	212	265	335
2,5	85	106	132	170	212	265	140	180	224	280	355	
Св. 22,4 до 45	0,5	48	60	75	95	118	—	80	100	125	—	—
	0,75	56	71	90	112	140	(180)	95	118	150	190	—
	1	63	80	100	125	160	200	106	132	170	212	265
	1,5	75	95	118	150	190	236	125	160	200	250	315
	2	85	106	132	170	212	265	140	180	224	280	355
	3	100	125	160	200	250	315	170	212	265	335	425
	3,5	106	132	170	212	265	335	180	224	280	355	450
	4	112	140	180	224	280	355	190	236	300	375	475
	4,5	118	150	190	236	300	375	200	250	315	400	500

Окончание табл. 18

Номинальный диаметр $d$ , мм	Шаг $P$ , мм	Наружная резьба						Внутренняя резьба				
		Степень точности										
		3	4	5	6	7	8	4	5	6	7	8
		$T_{d_2}$						$T_{D_2}$				
Св. 45 до 90	0,5	50	63	80	100	125	—	85	106	132	—	—
	0,75	60	75	95	118	150	—	100	125	160	—	—
	1	71	90	112	140	180	224	118	150	190	236	300
	1,5	80	100	125	160	200	250	132	170	212	265	335
	2	90	112	140	180	224	280	150	190	236	300	375
	3	106	132	170	212	265	335	180	224	280	355	450

Допуски средних диаметров резьбы являются суммарными. В точном классе установлены поля допусков: (3h4h), 4H — для  $S$ ; 4g, 4h, 4H5H, 5H — для  $N$ ; (5h4h), 6H — для  $L$ ; в среднем классе: 5g6g, (5h6h), (5G), 5H — для  $S$ ; 6d, 6e, 6f, (6g), 6h, 6G, (6H) — для  $N$ ; (7e6e), 7g6g, 7h6h, (7G), 7H — для  $L$ ; в грубом классе: 8g, (8h) (для резьбы с шагом меньше 0,8 мм используются поля допусков 8h6h); 7G, 7H — для  $N$ ; (9g8g), (8G), 8H — для  $L$ . В скобках указаны поля допусков, применение которых следует ограничивать. При длинах свинчивания  $S$  и  $L$  допускается применение полей допусков, устанавливаемых для длин свинчивания  $N$ . Понятие о классах точности условное. Они даны для ориентации при выборе точности резьбы. На чертежах и калибрах классы точности не указываются. Предельные отклонения можно определять, пользуясь табл. 16 — 18. Например, для 6d резьбы  $M10 \times 1,5$  по табл. 16  $es = -95$  мкм, по табл. 17  $T_{d_2}(6) = 236$  мкм, т.е.  $ei = -331$  мкм; аналогично для  $d_2$  найдем по табл. 16  $es = -95$  мкм, по табл. 18  $T_{d_2}(6) = 132$  мкм, т.е.  $ei = -227$  мкм, что соответствует данным, приведенным в приложении 2 ГОСТ 16093—81.

Примеры обозначения поля допуска диаметра резьбы: 4h, 6g, 6H, обозначения поля допуска резьбы: 7g6g, 5H6H. На первом месте — поле допуска среднего диаметра резьбы; на втором — поле допуска  $d$  или  $D_1$ . Если поле допуска  $d$  или  $D_1$  совпадает с полем допуска среднего диаметра, то оно в обозначении поля допуска резьбы не повторяется. Примеры обозначения резьбы:  $M12 - 6g$ ,  $M12 - 6H$ ;  $M12 \times 1 - 6g$ . Обозначение левой резьбы  $M12 \times 1LH - 6g$ ;

$M12 \times 1LH - 6H$ . Обозначение посадки в резьбовом соединении:  $M12 - 6H/6g$ . Длина свинчивания  $N$  в обозначении резьбы не указывается.

*Резьба метрическая. Посадки с натягом* [ГОСТ 4608—81 (в ред. 1989 г.)] распространяются на резьбы диаметром 5...45 мм с шагом 0,8...3 мм для наружных резьб деталей из стали, сопрягаемых с внутренней резьбой деталей из стали, высокопрочных и титановых сплавов (длина свинчивания  $1d...1,25d$ ), из чугуна (длина свинчивания  $1,25d...1,5d$ ) и из алюминиевых и магниевых сплавов (длина свинчивания  $1,5d...2d$ ). Предусмотрены посадки только в системе отверстия. Качество соединений более высокое при сортировке деталей по точности резьбы на две или три группы и сборке их по одноименным группам.

*Резьба метрическая. Переходные посадки* [ГОСТ 24834—81 (в ред. 1989 г.)]. Эти посадки применяют при дополнительном креплении шпилек по коническому сбегу резьбы, по плоскому бурту и по цилиндрической цапфе.

*Тrapeцидальная резьба.* Система допусков и посадок этой резьбы с профилем по ГОСТ 9484—81 установлена ГОСТ 9562—81 для однозаходной резьбы и ГОСТ 24739—81 (в ред. 1990 г.) для многозаходной. Посадки установлены только в системе отверстия.

*Средства измерения резьбы.* Комплексный контроль резьб осуществляют калибрами. При поэлементном контроле резьб погрешность шага на длине свинчивания, угла профиля и собственно среднего диаметра измеряют с помощью универсальных измерительных средств.

Приведенный средний диаметр при этом определяют как сумму действительного собственно среднего диаметра и диаметральных компенсаций погрешностей шага и угла профиля.

## НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

ГОСТ 1643–81 установил систему показателей и допусков на них для эвольвентных цилиндрических зубчатых колес и зубчатых передач внешнего и внутреннего зацепления с прямыми, косыми и шевронными зубчатыми колесами с делительным диаметром до 6300 мм, шириной зубчатого венца или полушеврона до 1250 мм, модулю зубьев 1...55 мм. Установлено двенадцать степеней точности зубчатых колес и передач, обозначаемых в порядке убывания точности цифрами с 1-й по 12-ю. Для степеней точности 1 и 2 допуски и предельные отклонения не даны. Для каждой степени точности зубчатых колес и передач устанавливаются нормы: кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев зубчатых колес и передач. Допускается комбинирование норм кинематической точности, норм плавности работы и норм контакта зубьев зубчатых колес и передач разных степеней точности. При комбинировании норм разных степеней точности нормы плавности работы зубчатых колес и передач могут быть не более чем на две степени точнее или на одну степень грубее норм кинематической точности; нормы контакта зубьев могут назначаться по любым степеням, более точным, чем нормы плавности работы зубчатых колес и передач, а также на одну степень грубее норм плавности.

*Кинематическая точность передачи.* Показателями кинематической точности являются: наибольшая кинематическая погрешность зубчатого колеса  $F'_{ior}(F'_i)$ ; погрешность обката зубчатого колеса  $F_{cr}(F_c)$ ; радиальное биение зубчатого венца  $F_{rr}(F_r)$ ; колебание длины общей нормали  $F_{vw}(F_{vw})$ ; колебание измерительного межосевого расстояния за оборот колеса  $F'_{ir}(F'_i)$ . Допуски (их обозначение дано в скобках) на указанные выше показатели для степеней точности приведены в табл. 19. Допуск  $F'_{io}$  на кинематическую погрешность передачи  $F'_{ior}$  равен сумме допусков  $F'_i$  ее зубчатых колес, а  $F'_i = F_p + f_p$ . Допуски  $F_{pk}$  на накопленную погрешность  $k$  шагов и  $F_p$  на накопленную погрешность шага зубчатого колеса приведены в табл. 20.

*Плавность работы передачи* определяется такими параметрами, погрешности которых многократно (циклически) проявляются за оборот зубчатого колеса. В табл. 19 приведены нормы плавности работы (допуски) на следующие погрешности: местную кинематическую погрешность колеса  $f'_{ir}(f'_i)$ , отклонение шага  $f_{pir}(f_{pi})$ ; отклонение шага зацепления (основного)  $f_{pir}(f_{pb})$ ; погрешность профиля зуба  $f_{pr}(f_p)$ ; колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе  $f'_{ir}(f'_i)$ ; циклическую погрешность зубчатого колеса,  $f_{zkr}(f_{ik})$  и циклическую погрешность передачи  $f_{zkor}(f_{ko})$ . В табл. 21 даны нормы (допуски) плавности работы циклической погрешности передачи. Погрешность  $f_{zko}$  зависит от коэффициента осевого перекрытия  $e_p$ . С увеличением этого коэффициента допуск  $f_{zko}$  уменьшается (ГОСТ 1643–81).

*Полнота контакта зубьев* зубчатых колес и передач имеет наибольшее значение для тяжело нагруженных тихоходных передач. В передаче она регламентируется суммарным пятном контакта, непосредственно контролируемым в собранной передаче. Способ определения пятна контакта, относительные размеры пятна контакта сопряженных поверхностей зубьев и место его расположения на этих поверхностях могут назначаться конструктором передачи. В этих случаях относительные предельные размеры суммарного пятна допускаются назначать независимо от указанных в стандарте. Стандарт устанавливает, например, для 3-й степени точности следующие предельные относительные размеры пятна контакта: по высоте не менее 65 % и по длине зубьев не менее 95 %. Для 11-й степени точности не менее 20 % по высоте и 25 % по длине зубьев; для 7-й степени точности не менее 45 % по высоте и 60 % по длине зубьев.

Допускается оценивать полноту контакта зубчатого колеса по суммарному пятну контакта его зубьев с зубьями измерительного зубчатого колеса. Полнота контакта может нормироваться следующими показателями:  $F_{pxn}(F_{pxn})$  – отклонение осевых шагов по нормали;  $F_{kz}(F_k)$  – суммарная погрешность контактной линии;  $F_{\beta}(F_{\beta})$  – погрешность направления зуба;  $f_{\alpha}(f_{\alpha})$  – отклонение от параллельности осей;  $f_{\gamma}(f_{\gamma})$  – перекос осей. В табл. 22 даны нормы контакта.

*Гарантированный боковой зазор  $j_{\min}$*  для различных видов сопряжений устанавливается

**19. Нормы кинематической точности и плавности**  
 (показатели  $F_m$ ,  $F_{vw}$ ,  $F_c$ ,  $F'_i$ ,  $f_{zk}$ ,  $f_{zko}$ ,  $f'_i$ ,  $f_{pr}$ ,  $f_{pb}$ ,  $f_f$ ,  $f''_i$ ), МКМ

Обозначение	Модуль $m$ , мм	Делительный диаметр											
		До 125 мм						Св. 125 до 400 мм					
		Степень точности											
		3	4	5	6	7	8	3	4	5	6	7	8
$F_r$	От 1,0 до 3,5	6	10	16	25	36	45	9	15	22	36	50	63
	Св. 3,5 до 6,3	7	11	18	28	40	50	10	16	25	40	56	71
$F_{vw}$ , $F_c$	От 1,0 до 10,0	4	6	10	16	22	28	7	12	18	28	40	50
$F''_i$	От 1,0 до 3,5	—	—	22	36	50	63	—	—	32	50	71	90
	Св. 3,5 до 6,3	—	—	25	40	56	71	—	—	36	56	80	100
$f_{zk}$ , $f_{zko}$ для $k = 2...4$ $k > 4...8$ $k > 8...16$ $k > 16...32$ $k > 32...63$ $k > 63...125$	От 1,0 до 6,3	2,8	4,5	7,1	11	18	25	4,2	6,3	10	16	26	36
		2,1	3,2	5,0	8	13	18	2,8	4,5	7,5	12	18	26
		1,6	2,4	3,8	6	9,5	14	2,2	3,4	5,6	8,5	14	20
		1,2	1,9	3,0	4,8	7,5	11	1,8	2,8	4,5	6,7	11	15
		1,0	1,5	2,5	3,8	6,0	8,5	1,4	1,9	3,6	5,6	9,0	12
		0,9	1,3	2,1	3,2	5,3	7,1	1,2	1,9	3,0	4,8	7,5	10
$f'_i$	От 1,0 до 3,5	6	9	12	18	25	36	7	10	14	20	30	40
	Св. 3,5 до 6,3	7	10	16	22	32	45	8	12	18	25	36	50
$f_{pi}$	От 1,0 до 3,5	2,5	4	6	10	14	20	2,8	4,5	7	11	16	22
	Св. 3,5 до 6,3	3,2	5	8	13	18	25	3,6	5,5	9	14	20	28
$f_{pb}$	От 1,0 до 3,5	2,4	3,8	5,5	9,5	13	19	2,6	4,2	6,7	10	15	21
	Св. 3,5 до 6,3	3,0	4,8	7,5	12	17	24	3,4	5,3	8,5	13	19	26
$f_f$	От 1,0 до 3,5	3,6	4,8	6	8	11	14	4,0	5,3	7,0	9	13	18
	Св. 3,5 до 6,3	4,0	5,3	7	10	14	20	4,5	6,0	8	11	16	22
$f''_i$	От 1,0 до 3,5	—	—	10	14	20	28	—	—	11	16	22	32
	Св. 3,5 до 6,3	—	—	13	18	25	36	—	—	14	20	28	40

20. Нормы кинематической точности на  $F_{Pk}$  и  $F_{P\tau}$  (допуски  $F_{Pk}$  и  $F_P$ ), мкм

Степень точности	Модуль $m$ , мм	Для $F_{Pk}$ длина дуги делительной окружности $L$ , мм									
		До 11,2	Св. 11,2 до 20	Св. 20 до 32	Св. 32 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 160	Св. 160 до 315	Св. 315 до 630	Св. 630 до 1000	Св. 1000 до 1600
		Для $F_P$ делительный диаметр $d$ , мм									
		—	До 12,7	Св. 12,7 до 20,4	Св. 20,4 до 31,8	Св. 31,8 до 50,9	Св. 50,9 до 101,8	Св. 101,8 до 200,5	Св. 200,5 до 401,1	Св. 401,1 до 636,6	Св. 636,6 до 1019
3	От 1 до 10	2,8	4,0	5,0	5,5	6,0	8,0	11	16	20	25
4	» 1 » 10	4,5	6	8	9	10	12	18	25	32	40
5	» 1 » 16	7	10	12	14	16	20	28	40	50	63
6	» 1 » 16	11	16	20	22	25	32	45	63	80	100
7	» 1 » 25	16	22	28	32	36	45	63	90	112	140
8	» 1 » 25	122	32	40	45	50	63	90	125	160	200

Примечание. При отсутствии специальных требований допуск  $F_{Pk}$  назначается для длины дуги делительной окружности, соответствующей 1/6 части числа зубьев зубчатого колеса (или дуги, соответствующей ближайшему большему целому числу зубьев).

21. Нормы плавности работы (показатель  $f_{z\text{гор}}$ ), мкм

Степень точности по показателю плавности работы	Модуль $m$ , мм	Частота $k$ циклической погрешности за оборот зубчатого колеса ( $k = z$ )				
		До 16	Св. 16 до 32	Св. 32 до 63	Св. 63 до 125	Св. 125 до 250
3	От 1,0 до 3,5	3	3	3	3,6	4
	Св. 3,5 » 6,3	3,6	3,6	4	4,5	5
4	От 1,0 до 3,5	4,5	5	5	5,3	5,6
	Св. 3,5 » 6,3	5,6	5,6	6	6,7	7,1
5	От 1,0 до 3,5	6,7	7,1	7,5	8	8,5
	Св. 3,5 » 6,3	8	8,5	9	10	11
6	От 1,0 до 3,5	10	10	11	12	13
	Св. 3,5 » 6,3	12	13	14	15	16
7	От 1,0 до 3,5	15	16	17	18	19
	Св. 3,5 » 6,3	18	19	20	22	24
8	От 1,0 до 3,5	22	24	24	25	28
	Св. 3,5 » 6,3	28	28	30	32	34

22. Норма контакта (показатели  $F_{P_{\text{нн}}}$ ,  $F_{\beta}$ ,  $f_{\text{ср}}$ ,  $f_{\text{гр}}$ ,  $F_{k\tau}$ ), мкм

Степень точности	Модуль $m$ , мм	Ширина зубчатого венца (полушестерня) <sup>1</sup> , мм	Обозначения				
			$F_{P_{\text{нн}}}$	$F_{\beta}$ , $f_{\text{ср}}$	$f_{\text{гр}}$	$m$ , мм	
						От 1 до 3,5	Св. 3.5 до 6,3
$F_k$							
3	От 1 до 10	До 40	±6,3	4,5	2,2	8	10
		Св. 40 до 100	±7,1	6	3	9	11
		» 100 » 160	±8	8	4	10	12
4	От 1 до 10	До 40	±8	5,5	2,8	11	12
		Св. 40 до 100	±10	8	4	12	14
		» 100 » 160	±11	10	5	14	14
5	От 1 до 16	До 40	±11	7	4	14	16
		Св. 40 до 100	±12	10	5	16	18
		» 100 » 160	±14	12	6,3	16	20
6	От 1 до 16	До 40	±12	9	4,5	18	20
		Св. 40 до 100	±14	12	6,3	20	22
		» 100 » 160	±16	16	8	22	25
7	От 1 до 25	До 40	±16	11	5,6	22	25
		Св. 40 до 100	±18	16	8	25	28
		» 100 » 160	±20	20	10	28	30
8	От 1 до 40	До 40	±25	18	9	36	40
		Св. 40 до 100	±28	25	12	40	45
		» 100 » 160	±32	32	16	40	50

<sup>1</sup> Или длина контактной линии.

независимо от степеней точности зубчатых колес и передач и их комбинирования. Показателями, определяющими боковой зазор, являются: для зубчатых колес – дополнительное смещение исходного контура  $E_{H\tau}$  ( $-E_{H\tau}$  +  $E_{H\tau}$ ), или отклонение средней длины общей нормали  $E_{Wm\tau}$  ( $-E_{Wm\tau}$ ; + $E_{Wm\tau}$ ), или отклонение длины общей нормали  $E_{Ws\tau}$  ( $-E_{Ws\tau}$ ; + $E_{Ws\tau}$ ), или отклонение толщины зуба  $E_{csr}$  ( $E_{cs}$ ), или отклонение измерительного межосевого расстояния. Соответствующие нормы бокового зазора даны в табл. 23 и 24. Допустимые значения  $j_{\text{мин}}$  для сопряжения H равны нулю, а для остальных – совпадают с  $E_H$  для 3 – 6-й степени точности. Вид допуска бокового зазора используется при несоответствии с видом сопряжения.

*Зубчатые колеса и передачи* контролируют, как правило, специализированными средствами измерения и контроля. Выполнение требований каждого вида норм точности (кинематической, плавности, контакта) и сопряжений может контролироваться проверкой комплексных показателей или комплексов поэлементных показателей. В табл. 25 перечислены возможные комплексы контроля зубчатых колес в зависимости от степени точности; указаны также наибольшие значения диаметров делительных окружностей ( $\text{max}d$ ) или наибольшей ширина венца, ограничивающие целесообразное использование указанных комплексов для контроля зубчатых колес.



## 23. Нормы бокового зазора, мкм

Вид сопряжения	Делительный диаметр $d_s$ , мм																		
	До 80			Св. 80 до 125			Св. 125 до 180			Св. 180 до 250			Св. 250 до 315						
	$\pm f_0$	$E_H$	$E_{H/s}, E_{H/m}$	$\pm f_0$	$E_{cs}$	$E_H$	$E_{H/s}, E_{H/m}$	$E_{cs}$	$\pm f_0$	$E_H$	$E_{H/s}, E_{H/m}$	$E_{cs}$	$\pm f_0$	$E_H$	$E_{H/s}, E_{H/m}$	$E_{cs}$	$\pm f_0$	$E_H$	$E_{H/s}, E_{H/m}$
H	3-6	12	8	14	10	10	10	12	14	11	12	14	18	12	14	14	20	14	16
	7	14	10	16	10	12	14	14	18	12	14	14	20	14	14	14	22	16	16
E	3-6	30	20	35	24	25	25	30	18	35	30	30	22	46	30	35	52	35	40
	7	35	25	40	30	30	30	35	22	40	35	35	22	50	35	35	55	40	40
D	3-6	46	30	54	35	40	40	45		63	40	45		72	50	55	81	55	60
	7	50	35	60	40	45	45	50	30	70	50	50	35	80	55	60	90	60	70
	8	55	40	70	50	50	50	60		80	50	60		90	60	70	100	70	70
C	3-6	74	50	87	60	60	60	70		100	70	70		115	80	80	130	90	90
	7	80	55	100	70	70	70	80	50	110	70	80	55	120	80	90	140	100	100
	8	90	60	110	80	80	80	90		120	80	90		140	100	100	160	110	120
B	3-6	120	80	140	100	100	100	120		160	110	120		185	120	140	210	140	160
	7	140	100	160	110	120	120	140	80	180	120	140	90	200	140	140	250	180	180
	8	140	100	160	110	120	120	140		200	140	140		220	140	160	250	180	180
A	3-6	190	120	220	140	160	160	180		250	180	180		290	200	200	320	220	250
	7	200	140	250	180	180	180	200	120	280	200	200	140	300	200	220	350	250	250
	8	220	160	280	200	200	200	220		300	200	220		350	250	250	400	280	300

Примечания: 1. В графе  $E_H$  даны абсолютные значения отклонений  $-E_{H/s}$  и  $+E_{H/m}$ , а в графе  $E_H$  — абсолютные значения отклонений  $-E_{H/s}$  (первое слагаемое),  $+E_{H/m}$  (второе слагаемое),  $-E_{H/s} + E_{H/m}$ . Вторые слагаемые  $E_{H/s}$  и  $E_{H/m}$  даны в табл. 24.

2.  $E_{cs}$  для зубчатых колес с внутренними зубьями принимают со знаком минус.

**24. Нормы бокового зазора для типовых видов сопряжения (H, E, D, B, A) и видов допуска (h, d, c, b, a, z, y, x), мкм**

Вид сопряжения	Вид допуска	Допуск F <sub>r</sub> на радиальное биение зубчатого венца											
		До 8	Св. 8 до 10	Св. 10 до 12	Св. 12 до 16	Св. 16 до 20	Св. 20 до 25	Св. 25 до 32	Св. 32 до 40	Св. 40 до 50	Св. 50 до 60	Св. 60 до 80	Св. 80 до 100
Допуск T <sub>H</sub> на смещение исходного контура													
H, E	h	28	30	35	40	40	45	55	60	70	80	110	120
D	d	35	40	40	45	55	60	70	80	90	100	140	160
C	c	45	50	55	60	70	80	90	100	120	140	180	200
B	b	55	60	70	70	80	90	100	120	140	180	200	250
A	a	70	80	80	90	100	110	140	160	180	200	250	300
-	z	90	100	100	110	120	140	160	180	220	250	300	350
-	y	110	120	140	140	160	180	200	250	280	350	400	500
-	x	140	160	160	180	200	220	250	300	350	400	500	600
Допуск T <sub>βm</sub> на среднюю длину общей нормали													
H, E	h	16	16	18	20	20	20	22	25	25	28	30	40
D	d	20	25	25	25	28	30	35	40	40	40	60	70
C	c	28	30	30	35	40	45	45	50	60	70	90	110
B	b	35	40	40	40	45	50	55	60	70	100	100	120
A	a	45	50	50	55	60	60	80	90	100	110	140	150
-	z	60	60	60	70	70	80	100	110	120	140	180	200
-	y	70	80	90	90	100	110	120	160	180	220	240	300
-	x	90	100	100	110	120	140	160	180	220	250	300	350
Наименьшие отклонения средней длины общей нормали (второе слагаемое - E <sub>βms</sub> или + E <sub>βmi</sub> )													
-	-	2	2	3	3	4	5	7	9	11	14	18	22
Допуск T <sub>β</sub> на длину общей нормали													
H, E	h	20	20	25	28	28	30	35	40	50	60	70	80
D	d	25	28	28	30	35	40	50	55	60	70	100	110
C	c	35	35	35	40	50	55	60	70	80	100	120	140
B	b	35	40	50	50	55	60	70	80	100	120	140	180
A	a	50	55	55	60	70	80	100	110	120	140	180	200
-	z	60	70	70	70	80	100	110	120	140	180	200	250
-	y	80	80	100	100	110	120	140	180	200	250	280	350
-	x	100	110	110	120	140	140	180	200	250	280	350	400
Допуск T <sub>c</sub> на толщину зуба													
H, E	h	20	22	25	30	30	35	40	45	50	70	70	90
D	d	25	30	30	35	40	45	50	60	70	70	100	120
C	c	35	35	35	45	50	60	70	70	90	100	140	160
B	b	40	45	50	50	60	70	70	90	100	140	140	180
A	a	50	60	60	70	70	80	100	120	140	140	180	220
-	z	70	70	70	80	90	100	140	140	160	180	220	250
-	y	80	90	100	100	120	140	140	180	200	250	300	350
-	x	100	120	120	140	140	160	180	220	250	300	350	450

## 25. Комплексы контроля

Кинематическая точность									
	$F'_{ir}$	$F_{Pr}, F_{Pkr}$	$F_{Pr}$	$F_{rr}, F_{vWr}$	$F_{rr}, F_{cr}$	$F''_{ir}, F_{cr}$	$F''_{ir}, F_{vWr}$	$F''_{ir}$	$F_{rr}$
Степень	3–8	3–6	7; 8	3–8	3–8	5–8	5–8	9–12	9–12
max $d$	1000	6300	6300	1000	6300	1000	1000	1000	любое

Плавность						
	$f_{zkr}$	$f'_{ir}$	$f_{Pbr}, f_{fr}$	$f_{Pbr}, f_{Pr}$	$f''_{ir}$	$f_{Pr}$
Степень	3–8	3–8	3–8	3–8	5–12	9–12
max $d$	6300	6300	1000	6300	1000	6300

Контакт зубьев								
	Пятно		$f_{Pchr}, f_{kr}$		$F_{\beta r}$		$F_{kr}$	
Степень	3–7	8; 9	3–7	8–12	3–7	8–12	3–7	8–12
max $d$	1250	630	1250	630	1250	630	1250	630

Пример условного обозначения точности зубчатых передач: 7–Н ГОСТ 1643–81: степень точности 7, вид сопряжения Н (вид допуска бокового зазора  $h$ );

8–7–6 Ва ГОСТ 1643–81: для норм кинематической точности 8-я степень, для норм плавности – 7-я степень точности; для норм контакта – 6-я степень; вид сопряжения – В, вид допуска бокового зазора а.

### ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ ШПОНОЧНЫХ И ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

*Взаимозаменяемость шпоночных соединений.* На ширину шпонок стандарт устанавливает поле допуска  $h9$ , а на шпоночные пазы для свободного соединения – поле допусков  $H9$  на валу и  $D10$  во втулке; для нормального соединения – поле допусков  $N9$  на валу и  $Js9$  во втулке; для плотного соединения – поле допуска  $P9$  на валу и во втулке. Высота шпонок регламентируется полем допуска  $h11$ , длина – полем  $h14$ , а длина шпоночного паза – полем  $H15$ . Допуски и основные отклонения выбирают по табл. 13 и 14.

*Взаимозаменяемость шлицевых соединений.* Посадки шлицевых соединений с прямым профилем выбирают в зависимости от того, по какой поверхности осуществляется

центрирование. Для нецентрирующего наружного диаметра установлена посадка  $H12/a11$ , а для нецентрирующего внутреннего диаметра рекомендуются посадки  $H6/g5$ ,  $H6/js5$ ,  $H7/e8$ ,  $H7/f7$ ,  $H7/g6$ ,  $H7/h6$ ,  $H7/h7$ ,  $H7/js6$ ,  $H7/js7$ ,  $H7/h6$ ,  $H8/e8$ ; для центрирующего наружного диаметра:  $H7/f7$ ,  $H7/g6$ ,  $H7/h6$ ,  $H7/js6$ ,  $H7/h6$ ,  $H8/e8$ ,  $H8/h7$ . При центрировании по боковым сторонам зубьев посадки по ширине образуются сочетанием полей допусков:  $F8$  с  $e8$ ,  $f8$ ,  $js7$ ;  $D9$  с  $d9$ ,  $e8$ ,  $f8$ ,  $f9$ ,  $h8$ ,  $h9$ ,  $js7$ ,  $k7$ ;  $D10$  с  $d10$ ,  $d8$ ;  $F8$  с  $d9$ ,  $e8$ ,  $f8$ ,  $f9$ ,  $h8$ ,  $h9$ ,  $js7$ ,  $k7$ ;  $Js10$  с  $d9$ .

При центрировании по внутреннему диаметру посадки по ширине, кроме указанных выше, образуются сочетанием полей допусков  $F8$  с  $d9$ ,  $f7$ ,  $h7$ ,  $h8$ ,  $h9$ ;  $H8$  с  $h7$ ,  $h8$ ,  $js7$ ;  $D9$  с  $f7$ ;  $F10$  с  $f7$ ,  $h7$ .

При центрировании по наружному диаметру посадки по ширине образуются сочетанием полей допусков:  $F8$  с  $e8$ ,  $f7$ ,  $f8$ ,  $h6$ ,  $h8$ ,  $js7$ ;  $D9$  с  $d9$ ,  $e8$ ,  $f7$ ,  $h8$ ,  $js7$ ,  $F10$  с  $e9$ ;  $f7$ ,  $h9$ ,  $Js10$  с  $d10$ . Допуски и основные отклонения даны в табл. 13 и 14.

Пример условного обозначения соединения с числом зубьев 8, внутренним диаметром 36 мм, наружным диаметром 40 мм, шириной зуба 7 мм, с центрированием по внутреннему

диаметру, посадкой H7/e8 и посадкой по ширине D9/f8:

$$d - 8 \times 36 \frac{H7}{e8} \times 40 \frac{H12}{a11} \times 7 \frac{D9}{f8}$$

Посадки шлицевых соединений с эвольвентным профилем зубьев при центрировании по боковым поверхностям образуются сочетанием полей допусков впадин, для которых установлено одно основное (суммарное) отклонение H (EI = 0) и 7-, 9-, 10- и 11-я степени точности, и полей допусков толщин с основными отклонениями a, c, d, f, g, h, k, n, p, г. Для ширины впадины втулки и толщины зуба вала установлены: T – суммарный допуск, регламентирующий одновременно погрешность собственно ширины впадины (толщины зуба) и погрешности формы и расположения элементов профиля; T (T<sub>s</sub>) – допуск собственно ширины впадины втулки (толщина зуба вала);

T используется при контроле соединения комплексными калибрами. На рабочих чертежах указывают T<sub>e</sub> (T<sub>s</sub>). Значения допусков даны в табл. 26. В табл. 27 представлены значения основных суммарных отклонений толщины зуба вала (es); это верхнее отклонение. Нижнее отклонение ei = es – T. Верхнее отклонение es<sub>s</sub> = ei + T<sub>s</sub> или es<sub>s</sub> = es – (T – T<sub>s</sub>).

Для ширины с впадины втулки верхнее отклонение EI = T, а нижнее EI<sub>e</sub> = T – T<sub>e</sub>.

В табл. 28 приведены значения допустимых радиальных биений зубчатого венца.

При центрировании по наружному диаметру установлены два ряда посадок с полями допусков для диаметров поверхности впадин втулки D<sub>f</sub> и поверхности вершин зубьев вала d<sub>a</sub>: первый ряд: H7 для D<sub>f</sub>; n6, js6, h6, g6, f7 для d<sub>a</sub>; второй ряд: H8 для D<sub>f</sub>; n6, h6, g6, f7 для d<sub>a</sub>. Первый ряд предпочтительнее. Значения основных отклонений и допусков выбирают по

26. Значения допусков ширины впадины втулки и толщины зуба вала, мкм

D, мм	t, мм	Степень точности													
		5		6		7		8		9		10		11	
		T	T <sub>e</sub>	T	T <sub>e</sub>	T	T <sub>e</sub>	T	T <sub>e</sub>	T	T <sub>e</sub>	T	T <sub>e</sub>	T	T <sub>e</sub>
До 12	От 0,5 до 1,5	12	8	18	11	25	16	36	22	50	32	71	45	100	63
		14	9	20	12	28	18	40	25	56	36	80	50	112	71
Св. 12 до 25	» 2 » 4	16	10	22	14	32	20	45	28	63	40	90	56	125	80
		16	10	22	14	32	20	45	28	63	40	90	56	125	80
Св. 25 до 50	От 0,5 до 1,5	16	10	22	14	32	20	45	28	63	40	90	56	125	80
	» 2 » 4	18	11	25	16	36	22	50	32	71	45	100	63	140	90
	» 5 » 10	20	12	28	18	40	25	56	36	80	50	112	71	160	100
Св. 50 до 100	От 0,5 до 1,5	18	11	25	16	36	22	45	32	71	45	100	63	140	90
	» 2 » 4	20	12	28	18	40	25	56	36	80	50	112	71	160	100
	» 5 » 10	22	14	32	20	45	28	63	40	90	56	125	80	180	112
Св. 100 до 200	От 0,5 до 1,5	20	12	28	18	40	25	56	36	80	50	112	71	160	100
	» 2 » 4	22	14	32	20	45	28	63	40	90	56	125	80	180	112
	» 5 » 10	25	16	36	22	50	32	71	45	100	63	140	90	200	125

27. Основные отклонения  $e_s$  толщины зубьев валов, мкм

$D$ , мм	Модуль $m$ , мм	$f$	$g$	$k$	$n$	$p$	$r$
До 12	От 0,5 до 1,5	-16	-8	+16	+32	+48	+64
Св. 12 до 25	От 0,5 до 1,5	-18	-9	+18	+36	+54	+72
	» 2 » 4	-20	-10	+20	+40	+60	+80
Св. 25 до 50	От 0,5 до 1,5	-20	-10	+20	+40	+60	+80
	» 2 » 4	-22	-11	+22	+44	+66	+88
	» 5 » 10	-25	-12	+25	+50	+75	+100
Св. 50 до 100	От 0,5 до 1,5	-22	-11	+22	+44	+66	+88
	» 2 » 4	-25	-12	+25	+50	+75	+100
	» 5 » 10	-28	-14	+28	+56	+85	+112
Св. 100 до 200	От 0,5 до 1,5	-25	-12	+25	+50	+75	+100
	» 2 » 4	-28	-14	+28	+56	+84	+112
	» 5 » 10	-32	-16	+32	+64	+90	+128

28. Рекомендуемые предельные значения радиального биения  $F_r$ , мкм

Степень точности	Диаметр делительной окружности, мм											
	До 12		Св. 12 до 25		Св. 25 до 50		Св. 50 до 100		Св. 100 до 200			
	Модуль, мм											
	Св. 0,5 до 1,5	От 0,5 до 1,5	От 2 до 4	От 0,5 до 1,5	От 2 до 4	От 5 до 10	От 0,5 до 1,5	От 2 до 4	От 5 до 10	От 0,5 до 1,5	От 2 до 4	От 5 до 10
5	6	7	8	8	9	10	9	10	11	10	11	12
6	9	10	11	11	12	14	12	14	16	14	16	18
7	12	14	16	16	18	20	18	20	22	20	22	25
8	18	20	22	22	25	28	25	28	32	28	32	36
9	25	28	32	32	36	40	36	40	45	40	45	50
10	36	40	45	45	50	56	50	56	63	56	63	71

табл. 13 и 14. При центрировании по наружному диаметру установлены поля допусков ширины  $e$  впадины втулки – 9H, 11H (см. табл. 26), а поля допусков толщины  $s$  зуба вала – 9H9g, (см. табл. 26 и 27), 9d, 11c и 11a.

Пример условного обозначения соединения с наружным диаметром 50 мм, модулем 2 мм и с центрированием по боковым поверхностям и посадкой по ним 9H/9g:

$$50 \times 2 \times 9H/9g.$$

Детали шлицевых соединений контролируют дифференцированно средствами и методами, используемыми для измерения (контроля)

деталей зубчатых и гладких цилиндрических сопряжений, а комплексно – комплексными шлицевыми калибрами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Метрологическое обеспечение, взаимозаменяемость, стандартизация: Учеб. пособие для вузов / К.И. Гусев, Р.В. Медведева, Е.П. Мышелов, Е.А. Яковлев. М.: Машиностроение, 1992. 384 с.
2. Якушев А.И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. 6-е изд. М.: Машиностроение, 1986. 350 с.

## Глава 3

# МАТЕРИАЛЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И МАРКИРОВКА

### 1. Условные обозначения основных элементов в металлах и сплавах

Элемент	Символ	Принятое обозначение элементов в марках металлов и сплавов		Элемент	Символ	Принятое обозначение элементов в марках металлов и сплавов	
		черных	цветных			черных	цветных
Азот	N	А	—	Неодим	Nd	—	Нм
Алюминий	Al	Ю	А	Никель	Ni	Н	Н
Барий	Ba	—	Бр	Ниобий	Nb	Б	Нп
Бериллий	Be	Л	—	Олово	Sn	—	О
Бор	B	Р	—	Осмий	Os	—	Ос
Ванадий	V	Ф	Вам	Палладий	Pd	—	Пд
Висмут	Bi	Ви	Ви	Платина	Pt	—	Пл
Вольфрам	W	В	—	Празеодим	Pr	—	Пр
Гадолиний	Gd	—	Гн	Рений	Re	—	Ре
Галлий	Ga	Ги	Ги	Родий	Rh	—	Rg
Гафний	Hf	—	Гф	Ртуть	Hg	—	Р
Германий	Ge	—	Г	Рутений	Ru	—	Ру
Гольмий	Ho	—	ГОМ	Самарий	Sm	—	Сам
Диспрозий	Dy	—	ДИМ	Свинец	Pb	—	С
Европий	Eu	—	Ев	Селен	Se	Е	СТ
Железо	Fe	—	Ж	Серебро	Ag	—	Ср
Золото	Au	—	Зл	Скандий	Sc	—	Скм
Индий	In	—	Ин	Сурьма	Sb	—	Су
Иридий	Ir	—	И	Таллий	Te	—	Тл
Иттербий	Yb	—	ИТН	Тантал	Ta	—	ТТ
Иттрий	Y	—	ИМ	Теллур	Te	—	Т
Кадмий	Cd	Кд	Кд	Тербий	Tb	—	Том
Кобальт	Co	К	К	Титан	Ti	Т	ТПД
Кремний	Si	С	Кр(К)	Тулий	Tm	—	ТУМ
Лантан	La	—	Ла	Углерод	C	У	—
Литий	Li	—	Лэ	Фосфор	P	П	Ф
Лютеций	Lu	—	Люн	Хром	Cr	Х	Х(Хр)
Магний	Mg	Ш	Мг	Церий	Ce	—	Се
Марганец	Mn	Г	Мц (Мр)	Цинк	Zn	—	Ц
Медь	Cu	Д	М	Цирконий	Zr	Ц	ЦЭВ
Молибден	Mo	М	—	Эрбий	Er	—	Эрм

## 2. Условные обозначения марок материалов

Материал	Обозначение
<b>Сталь</b> Углеродистая обыкновенного качества (ГОСТ 380–94)	Буквами Ст и цифрами 0; 1; 2 и т.д. до 6. Увеличение номера означает повышение содержания углерода и временного сопротивления (Ст1, Ст2). Буква Г после цифры указывает на повышенное содержание марганца. Степень раскисления стали обозначается буквами после цифр: кп – кипящая; пс – полуспокойная; сп – спокойная
Углеродистая качественная (ГОСТ 1050–88 (в ред. 1992 г.))	Двумя цифрами: 05, 08, 10, 15, 20 и т.д. до 60. Они показывают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Буквы кп и пс после цифр соответствуют кипящей или полуспокойной стали
Низколегированная конструкционная (ГОСТ 19281–89 (в ред. 1991 г.)), легированная конструкционная (ГОСТ 4543–71 (в ред. 1990 г.)), рессорно-пружинная (ГОСТ 14959–79 (в ред. 2000 г.)) коррозионно-стойкая (ГОСТ 5632–72 (в ред. 1989 г.))	Первые две цифры указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Буквы за цифрами указывают присутствие легирующих элементов (обозначения элементов см. табл. 1), а цифры после букв обозначают содержание легирующих элементов в процентах (35Г2; 30Х2). Если содержание легирующих элементов менее 1,5 %, то цифра отсутствует (50Х; 15ХР). Буква А в конце обозначений марок указывает, что сталь высококачественная (15ХА; 20ХН3А)
Нелегированная углеродистая инструментальная (ГОСТ 1435–99)	Буквой У и цифрами, показывающими среднее содержание углерода в десятых долях процента (У7; У10). Буква А после цифр обозначает, что сталь высококачественная (У8А); Г – повышенная массовая доля марганца
Легированная инструментальная (ГОСТ 5950–2000)	Первые цифры указывают среднее содержание углерода в десятых долях процента, если оно более 0,1 % (9Х1; 9ХС). Цифры, стоящие после букв, обозначающих легирующий элемент, показывают его среднее содержание в (Х12; 8Х3)
Подшипниковая (ГОСТ 801–78 (в ред. 2001 г.))	Буквами ШХ и цифрами, показывающими содержание хрома в десятых долях процента. Буквы после цифр показывают наличие дополнительных легирующих элементов (ШХ15СГ)
Конструкционная высокой обрабатываемости резанием (ГОСТ 1414–75 (в ред. 2002 г.))	Буквы означают: А – автоматная сернистая; АС – автоматная свинцовосодержащая; Е – указывает на наличие селена
<b>Чугун</b> Серый с пластинчатым графитом (ГОСТ 1412–85)	Буквами СЧ и числами, обозначающими минимальный предел прочности при растяжении в МПа · 10 <sup>-1</sup> (СЧ10)
Ковкий (ГОСТ 1215–79)	Буквами КЧ. Первое число обозначает временное сопротивление разрыву в кгс/мм <sup>2</sup> , второе – относительное удлинение в процентах (КЧ 30-6)
С повышенной жаростойкостью, коррозионной стойкостью, износостойкостью или жаропрочностью (ГОСТ 7769–82 (в ред. 1988 г.))	Буквой Ч. Последующие буквы указывают на наличие легирующих элементов, а цифры за ними – на соответствующее количество этих элементов в процентах. Последняя буква Ш указывает, что чугун с шаровидным графитом

Окончание табл. 2

Материал	Обозначение
<b>Алюминиевые сплавы</b> Деформируемые (ГОСТ 4784-97)	Буквами и цифрами по ГОСТ 1131-76 (в ред. 1988 г.), 7871-75 (в ред. 1989 г.), 13726-97, 21631-76 (в ред. 1989 г.) и ИСО-209-1
<b>Магниеые сплавы</b> Литейные (ГОСТ 2856-79 (в ред. 1988 г.))	Буквами Мл, после которых указывается номер сплава (Мл5)
Деформируемые (ГОСТ 14957-76 (в ред. 1983 г.))	Буквами МА, после которых указывается номер сплава
<b>Латуни</b> (ГОСТ 15527-70 (в ред. 1999 г.), ГОСТ 17711-93))	Буквой Л. Последующие буквы указывают на присутствие легирующих элементов. Первое число обозначает содержание меди в процентах, остальные – соответствующее последовательности букв содержание легирующих элементов в процентах (ЛмЦА 57-3-1)
<b>Бронзы</b> Бронзы оловянные литейные (ГОСТ 613-79), бронзы безоловянные литейные (ГОСТ 493-79), бронзы оловянные, обрабатываемые давлением (ГОСТ 5017-74 (в ред. 1979 г.)), бронзы безоловянные, обрабатываемые давлением (ГОСТ 18175-78 (в ред. 1988 г.))	Буквами Бр. Последующие буквы указывают присутствующие легирующие элементы, а цифры – их содержание в процентах (БрО4-4)
<b>Медно-никелевые сплавы</b> (ГОСТ 492-73 (в ред. 1989 г.))	Буквами МН. Последующие буквы указывают присутствующие легирующие элементы. Первое число обозначает содержание никеля в процентах, остальные – соответствующее последовательности букв содержание легирующих элементов (МНЖМц 30-1-1)
<b>Баббиты оловянные</b> (ГОСТ 1320-74 (в ред. 1998 г.))	Буквой Б и числом, показывающим содержание олова в процентах (Б88)
<b>Сплавы твердые спеченные</b> (ГОСТ 3882-74 (в ред. 2002 г.))	Буквы ВК – вольфрамовые, цифра обозначает содержание кобальта в процентах (ВК6). Буква Т – титано-вольфрамовые; цифра обозначает содержание карбида титана. Буквы ТТ – титанотанталовольфрамовые; цифры указывают суммарное содержание карбидов титана и тантала. Буквы К после цифр обозначают присутствие кобальта, а последующие цифры – его количество (Т5К10; ТТ10К8)
<b>Припой</b> Оловянно-свинцовые (ГОСТ 21930-76 (в ред. 1995 г.))	Буквами ПОС. Последующие буквы К или Су указывают на присутствие кадмия или сурьмы. Первое число обозначает содержание олова в процентах, второе – содержание кадмия или сурьмы (ПОССу 18-2)
<b>Серебряные припой</b> (ГОСТ 19738-74 (в ред. 1985 г.))	Буквами ПСр и цифрой, указывающей содержание серебра в процентах (ПСр 72); П – припой, Ср – серебро



## 3. Маркировка материалов

Материал	Цвет краски
<i>Сталь обыкновенного качества (ГОСТ 380–94)</i>	
Ст0	Красный и зеленый
Ст1	Желтый и черный
Ст2	Желтый
Ст3	Красный
Ст4	Черный
Ст5	Зеленый
Ст6	Синий
<i>Сталь углеродистая качественная (ГОСТ 1050–88 (в ред. 1992 г.))</i>	
0,8; 10; 15; 20	Белый
25; 30; 35; 40	Белый и желтый
45; 50; 55; 60	Белый и коричневый
<i>Сталь легированная конструкционная (ГОСТ 4543–71 (в ред. 1990 г.))</i>	
Хромистая	Зеленый и желтый
Хромомолибденовая и хромомолибденованадиевая	Зеленый и фиолетовый
Хромованадиевая	Зеленый и черный
Марганцовистая	Коричневый и синий
Хромомарганцевая	Синий и черный
Хромокремнистая	Синий и красный
Хромокремнемарганцевая	Красный и фиолетовый
Никельмолибденовая	Желтый и фиолетовый
Хромоникелевая и хромоникелевая с бором	Желтый и черный
Хромоникельмолибденовая	Фиолетовый и черный
Хромоалюминиевая и хромоалюминиевая с молибденом	Алюминный
<i>Сталь коррозионно-стойкая (ГОСТ 5632–72 (в ред. 1989 г.))</i>	
Хромистая	Алюминный и черный
Хромоникелевая	Алюминный и красный
Хромтитановая	Алюминный и желтый
Хромоникелекремнистая	Алюминный и зеленый
Хромоникелетитановая	Алюминный и синий
Хромоникелениобиевая	Алюминный и белый
Хромомарганценикелевая	Алюминный и коричневый
Хромоникельмолибденотитановая	Алюминный и фиолетовый

Продолжение табл. 3

Материал	Цвет краски
<i>Сталь быстрорежущая</i>	
P18	Бронзовый и красный
P9	Бронзовый
<i>Сплавы твердые спеченные (ГОСТ 3882-74 (в ред. 2002 г.))</i>	
BK3M	Черный с оранжевой полосой
BK4	Оранжевый
BK6	Синий
BK6M	Синий с белой полосой
BK6B	Фиолетовый
BK8	Красный
BK8B	Красный с синей полосой
BK10	Красный с белой полосой
BK15	Белый
T15K6	Зеленый
T30K4	Голубой
<i>Литейные алюминиевые сплавы (ГОСТ 1583-93)*</i>	
AK12(АЛ2)	Белый, зеленый, зеленый
AK12П	Белый, белый, зеленый, зеленый
AK13	Зеленый, желтый
AK9(АК9)	Белый, желтый
AK9П	Белый, белый, желтый
AK9ч(АЛ4)	Коричневый треугольник
AK9пч(АЛ4-1)	Два зеленых треугольника
AK8л(АЛ34)	Два желтых треугольника
AK9с(АК9с)	Белый, желтый, желтый
AK7(АК7)	Белый, красный
AK7П(АК7П)	Белый, красный, красный
AK7ч(АЛ9)	Желтый треугольник
AK7пч(АЛ9-1)	Два зеленых креста
AK10Су(АК10Су)	Черный
AK5M(АЛ5)	Белый, черный, белый
AK5Mч(АЛ5-1)	Красный, синий, зеленый
AK5M2(АК5M2)	Черный, синий
AK5M2П(АК5M2П)	Черный, синий, красный
AK6M2(АК6M2)	Два синих креста
AK8M(АЛ32)	Зеленый треугольник

Окончание табл. 3

Материал	Цвет краски
AK5M4(AK5M4)	Черный, синий, синий
AK5M7(AK5M7)	Черный, красный
AK8M3(AK8M3)	Белый, синий
AK8M3ч(ВАЛ8)	Два белых креста
AK9M2(AK9M2)	Белый, желтый, белый
AK12M2(AK11M2, AK12M2, AK12M2p)	Два красных креста
AK12MMгH(АЛ30)	Белый, черный, черный
AK12M2MгH(АЛ25)	Белый, черный
AK21M2,5H2,5(ВКЖЛС-2)	Черный, черный, черный
AM5(АЛ19)	Белый треугольник
AM4,5Кд(ВАЛ10)	Синий треугольник
AMг4К1,5М (AM4К1, 5M1)	Красный, желтый, желтый
AMг5К(АЛ13)	Коричневый крест
AMг5Мц(АЛ28)	Зеленый крест
AMг6л(АЛ23)	Белый крест
AMг6лч(АЛ23-1)	Желтый крест
AMг10(АЛ27)	Черный, черный, синий
AMг10ч(АЛ27-1)	Красный треугольник
AMг11(АЛ22)	Красный крест
AMг7(АЛ29)	Две полосы: зеленая и красная
AK7Ц9(АЛ11)	Белый, белый, зеленый
AK9Ц6(AK9Ц6p)	Синий, синий, синий
АЦ4Mг(АЛ24)	Черный крест
AK12ч(СИЛ-1)	Красная буква С
AK12пч(СИЛ-0)	Белая буква С
AK12оч(СИЛ-00)	Синяя буква С
AK12ж(СИЛ-2)	Черная буква С

\* На каждой чушке должны быть нанесены:

– товарный знак или наименование и товарный знак предприятия-изготовителя, номер плавки и маркировка сплава;

– по соглашению с потребителем для крупногабаритных чушек массой более 200 кг – несмываемой краской цифровое значение массы чушки в килограммах.

Допускается по соглашению с потребителем наносить номер плавки, товарный знак или наименование и товарный знак предприятия-изготовителя на 80 % чушек при условии формирования пакета из чушек одной плавки.

Чушки, предназначенные для изготовления изделий и оборудования, контактирующих с пищевыми продуктами, маркируются при отсутствии цветной маркировки дополнительной буквой "П", которая ставится после обозначения марки сплава.

Чушки на торце маркируют несмываемой цветной краской (вертикальные полосы, кресты, треугольники) или металлическим клеймом на поверхности чушки.

## СТАЛИ

## 4. Определение марки стали по искре

Сталь	Цвет и характеристика пучка искр
Низкоуглеродистая нелегированная (до 0,15 % С)	Короткий темно-желтый пучок искр, принимающих форму полосок и становящихся более светлыми в зоне сгорания; мало звездчатых разветвлений
Среднеуглеродистая нелегированная (0,15... 1,0 % С)	При повышенном содержании углерода образуется более плотный и более светлый желтый пучок искр с многочисленными звездчатыми и ответвлениями лучей
Высокоуглеродистая нелегированная (св. 1 % С)	Очень плотный желтый пучок искр с многочисленными звездочками. При увеличении содержания углерода уменьшается яркость и укорачивается пучок искр
Нелегированная с повышенным содержанием марганца	Широкий плотный ярко-желтый пучок искр; внешняя зона линий искр особенно яркая. Многочисленные разветвления лучей
Марганцовистая (12 % Mn)	Преобладание зонтообразных искр
Конструкционная (до 5 % Ni)	Яркие желтые линии искр в виде язычков, расщепленные на конце; увеличение яркости в зоне сгорания. При повышенном содержании углерода на концах искр появляются звездочки
Хромистая с низким содержанием углерода и высоким содержанием хрома	Короткий темно-коричневый пучок искр без звездочек, слабо разветвленный; искры прилипают к поверхности шлифовального круга
Никелевая высоколегированная	При содержании 35 % Ni красно-желтое окрашивание пучка. При более высоком содержании никеля (около 47 %) яркость искр значительно ослабевает
Хромоникелевая	Желто-красные искры с более яркими полосами в зоне сгорания. При повышенном содержании хрома и никеля пучок искр более темный
Вольфрамовая	Красные короткие искры; линии искр отчетливо изгибаются книзу. Разветвление звездочек углерода отсутствует. Чем выше содержание вольфрама, тем слабее образование искр
Молибденовая	Ярко-желтые искры в виде язычков. При низком содержании кремния язычки видны перед звездочками углерода; при повышенном содержании — за звездочками углерода

## 5. Механические свойства углеродистой стали обыкновенного качества (ГОСТ 380-94)

Марка	$\sigma_b$	$\sigma_{0,2}$	$\delta, \%$	Марка	$\sigma_b$	$\sigma_{0,2}$	$\delta, \%$
	Н/мм <sup>2</sup>				Н/мм <sup>2</sup>		
Ст0	300	—	23	Ст3пс	370...480	235	26
Ст1кп	310...400	—	35	Ст3Гпс	370...490	235	26
Ст1пс	320...410	—	34	Ст4кп	410...540	260	25
Ст1Гпс	320...410	—	34	Ст4Гпс	415...540	270	24
Ст2кп	320...410	200	33	Ст5сп	490...630	290	20
Ст2сп	330...430	225	32	Ст5Гпс	500...590	290	20
Ст2Гпс	340...450	230	32	Ст6пс	590	315	15

Механические свойства сталей и сплавов приведены в табл. 5 – 10. В таблицах обозначены:  $\sigma_{0,2}$  – предел текучести;  $\sigma_b$  – временное

сопротивление разрыву;  $\delta$  – относительное удлинение; НВ – твердость по Бринеллю;  $\psi$  – относительное сужение.

**6. Механические свойства углеродистой качественной стали  
(ГОСТ 1050–88 (в ред. 1992 г.))**

Марка	Механические свойства			НВ	Марка	Механические свойства			НВ
	$\sigma_b$	$\sigma_{0,2}$	$\delta, \%$			$\sigma_b$	$\sigma_{0,2}$	$\delta, \%$	
	Н/мм <sup>2</sup>					Н/мм <sup>2</sup>			
08	320	196	33	131* <sup>1</sup>	35	530	312	20	207* <sup>1</sup>
10	330	205	31	143* <sup>1</sup>	40	570	335	19	197* <sup>2</sup>
15	370	225	27	149* <sup>1</sup>	45	600	355	16	197* <sup>2</sup>
20	410	245	25	163* <sup>1</sup>	50	630	375	14	207* <sup>2</sup>
25	450	275	23	170* <sup>1</sup>	55	650	380	13	217* <sup>2</sup>
30	490	295	21	179* <sup>1</sup>	60	680	400	12	229* <sup>2</sup>

\*<sup>1</sup> Для горячекатаной стали.

\*<sup>2</sup> Для обожженной стали.

**7. Механические свойства низколегированной конструкционной стали  
(ГОСТ 19281–89 (в ред. 1991 г.))**

Марка	$\sigma_b$	$\sigma_{0,2}$	$\delta, \%$	Марка	$\sigma_b$	$\sigma_{0,2}$	$\delta, \%$
	Н/мм <sup>2</sup>				Н/мм <sup>2</sup>		
12ГС	460	310	26	17ГС	510	345	23
15ХСНД	490	345	21	09Г2Д	440	305	21
09Г2	440	305	21	10Г2С1	490	355	21
14Г2	460	335	21	15ГФ	510	372	21
18Г2АФпс	460	310	19	14ХГС	490	345	21
16ГС	490	325	21	15ХСНД	490	345	21
				10ХСНД	510	390	19

**8. Механические свойства и условия термической обработки  
легированных сталей (ГОСТ 4543-71 (в ред. 1990 г.))**

Марка	Термическая обработка					Механические свойства		
	Закалка			Отпуск		$\sigma_{0.2}$	$\sigma_b$	$\delta, \%$
	Температура, °С		Среда охлаждения	Температура, °С	Среда охлаждения			
	первой закалки или нормализации	второй закалки				Н/мм <sup>2</sup>		
<i>Хромистые стали</i>								
15X	880	770...820	Вода или масло	180	Воздух или масло	490	690	12
15XФ	880	760...810	То же	180	То же	540	740	13
20X	880	700...820	»	180	»	635	780	11
30X	860	—	Масло	500	Вода или масло	685	880	12
30ХРА	900	860	То же	200	Воздух	1275	1570	9
35X	860	—	»	500	Вода или масло	735	910	11
38ХА	860	—	»	550	То же	785	930	12
40X	860	—	»	500	»	785	980	10
45X	840	—	»	520	»	835	1030	9
50X	830	—	»	520	»	885	1080	9
<i>Марганцовистые стали</i>								
20Г	880	—	Воздух	—	—	275	450	24
25Г	880	—	Вода или воздух	560	Воздух	295	490	22
30Г	860	—	То же	600	То же	315	540	20
35Г	860	—	»	600	»	335	560	18
40Г	860	—	»	600	»	355	590	17
45Г	850	—	Масло или воздух	600	»	375	620	15
50Г	850	—	То же	600	»	390	650	13
10Г2	920	—	Воздух	—	—	245	420	22
30Г2	880	—	Масло или воздух	600	Воздух	345	590	15
35Г2	870	—	То же	650	То же	365	620	13
40Г2	860	—	»	650	»	380	660	12
45Г2	850	—	»	650	»	400	690	11
50Г2	840	—	»	650	»	420	740	11

Продолжение табл. 8

Марка	Термическая обработка					Механические свойства		
	Закалка		Среда охлаждения	Отпуск		$\sigma_{0,2}$	$\sigma_b$	$\delta, \%$
	Температура, °С			Температура, °С	Среда охлаждения			
	первой закалки или нормализации	второй закалки	Н/мм <sup>2</sup>					
<i>Хромомарганцовистые стали</i>								
18ХГ	880	—	Масло	200	Воздух или масло	735	880	10
18ХГТ	880...950, воздух	870	То же	200	Воздух или вода	885	980	9
20ХГР	880	—	»	200	Воздух или масло	785	980	9
27ХГР	870	—	»	200	Воздух	1175	1370	8
40ХГТР	840	—	»	550	Вода или масло	785	980	11
35ХГФ	870	—	»	630	То же	780	910	14
25ХГМ	860	—	»	200	Воздух	1080	1180	10
<i>Хромокремнистые стали</i>								
33ХС	920	—	Вода или масло	630	Вода или масло	685	880	13
38ХС	900	—	Масло	630	Масло	735	930	12
40ХС	800	—	То же	540	То же	1080	1230	12
<i>Хромомолибденовые и хромомолибденованадиевые стали</i>								
15ХМ	880	—	Воздух	650	Воздух	275	440	21
20ХМ	880	—	Вода или масло	500	То же	590	780	12
30ХМ	880	—	Масло	540	Вода или масло	735	930	11
30ХМА	880	—	То же	540	То же	735	930	12
35ХМ	880	—	»	550	»	835	930	12
38ХМ	850	—	»	580	Воздух	885	980	11
30Х3МФ	870	—	»	620	Вода или масло	835	980	12
40ХМФА	860	—	»	580	Масло	930	1030	13

Продолжение табл. 8

Марка	Термическая обработка					Механические свойства		
	Закалка		Среда охлаждения	Отпуск		$\sigma_{0,2}$	$\sigma_b$	$\delta, \%$
	Температура, °C			Температура, °C	Среда охлаждения			
	первой закалки или нормализации	второй закалки	Н/мм <sup>2</sup>					
<i>Хромованадиевые стали</i>								
15ХФ	880	760...810	Вода или масло	180	Воздух или масло	540	740	13
40ХФА	880	—	Масло	650	Вода или масло	735	884	10
<i>Никельмолибденовые стали</i>								
15Н2М	860	770...820	Масло	180	Воздух	635	830	11
20Н2М	860	—	То же	180	То же	685	880	10
<i>Хромоникелевые и хромоникелевые с бором стали</i>								
20ХН	860	760...810	Вода или масло	180	Вода или масло	590	780	14
40ХН	820	—	То же	500	То же	785	980	11
45ХН	820	—	»	530	»	835	1030	10
50ХН	820	—	»	530	»	885	1080	9
20ХНР	930...950, воздух	780...830	Масло	200	Воздух или масло	980	1180	10
12ХН2	860	760...810	Вода или масло	180	То же	590	780	12
12ХН3А	860	760...810	То же	180	»	685	930	11
20ХН3А	820	—	Масло	500	Вода или масло	735	930	12
12Х2А4А	860	760...800	То же	180	Воздух или масло	960	1130	10
20Х2Н4А	860	780	»	180	То же	1080	1270	9
30ХН3А	820	—	»	530	Вода или масло	785	980	10
<i>Хромокремнемарганцевые и хромокремнемарганцевоникелевые стали</i>								
20ХГСА	880	—	Масло	500	Вода или масло	635	780	12
25ХГСА	880	—	То же	480	То же	835	1080	10
30ХГС	880	—	»	540	»	835	1080	10



Продолжение табл. 8

Марка	Термическая обработка					Механические свойства		
	Закалка			Отпуск		$\sigma_{0,2}$	$\sigma_s$	$\delta, \%$
	Температура, °C		Среда охлаждения	Температура, °C	Среда охлаждения			
	первой закалки или нормализации	второй закалки				Н/мм <sup>2</sup>		
30ХГСА	880	—	Масло	540	Вода или масло	835	1080	10
35ХГСА	700, воздух	890	То же	230	Воздух или масло	1275	1620	9
30ХГСН2А	900	—	»	260	То же	1375	1620	9

*Хромомарганцевоникелевые и хромомарганцевоникелевые стали с титаном и бором*

15ХГН2ТА	960, воздух	840	Масло	180	Вода или масло	735	930	11
20ХГНР	930...950	780...830	То же	200	То же	1080	1270	10
20ХГНТР	850	—	»	200	Масло	980	1180	9
38ХГН	850	—	»	570	Вода или масло	685	780	12

*Хромоникельмолибденовые стали*

14ХН3МА	880	770	Масло	180	Воздух	885	980	10
20ХН2М	860	780	То же	800	Вода или масло	685	880	11
30ХН2МА	860	—	»	530	Воздух	785	980	10
38ХН2МА	870	—	»	580	Воздух или масло	930	1080	12
40ХН2МА	870	—	»	860	Вода или масло	930	1080	12
40ХН2МА	870	—	»	600	То же	930	1080	10
38ХН3МА	850	—	»	590	Воздух	980	1080	12
18ХН4МА	950	880	Воздух	200	Воздух или масло	835	1130	12
25ХН4МА	850	—	Масло	560	Масло	930	1080	11

Окончание табл. 8

Марка	Термическая обработка					Механические свойства		
	Закалка			Отпуск		$\sigma_{0,2}$	$\sigma_s$	$\delta, \%$
	Температура, °С		Среда охлаждения	Температура, °С	Среда охлаждения			
	первой закалки или нормализации	второй закалки				Н/мм <sup>2</sup>		

*Хромоникельмолибденованадиевые и хромоникельванадиевые стали*

30ХН2МФА	860	—	Масло	680	Воздух	785	880	10
36Х2Н2МФА	860	—	То же	600	То же	1080	1180	12
38ХН3МФА	850	—	»	600	»	1080	1180	12
45ХН2МФА	860	—	»	460	Масло	1275	1420	7
20ХН4ФА	850	—	»	630	Вода	685	880	12

*Хромоалюминиевые и хромоалюминиевые с молибденом стали*

38Х2Ю	930	—	Вода или масло	630	Вода или масло	735	880	10
38Х2МЮА	940	—	То же	640	То же	835	980	14

**9. Механические свойства нелегированной углеродистой инструментальной стали (ГОСТ 1435-99), коррозионно-стойкой стали (ГОСТ 5632-72 (в ред. 1989 г.)), стали конструкционные высокой обрабатываемости резанием (ГОСТ 1414-75 (в ред. 2002 г.)), подшипниковой стали (ГОСТ 801-78 (в ред. 2001 г.))**

Марка	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_s$	$\delta, \%$	НВ
	Н/мм <sup>2</sup>			
<i>Углеродистые инструментальные стали</i>				
У7А	—	650	21	187
У8А	—	650	—	187
У10А	—	750	28	212
У12А	—	750	28	217

*Коррозионно-стойкие стали*

12Х13	415	590	20	121...197
20Х13	440	650	16	126...197
08Х13	295	420	23	—
20Х23Н13	—	540	35	—
12Х18Н9	215	530	38	—
17Х18Н9	265	590	35	—
20Х18Н9Т	220	530	38	140...170
12Х18Н10Т	235	530	38	—

Окончание табл. 9

Марка	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_b$	$\delta, \%$	НВ
	Н/мм <sup>2</sup>			
<i>Стали конструкционные высокой обрабатываемости резанием*</i>				
А12	—	<u>410</u>	<u>22</u>	<u>160</u>
		510	7	217
А20	—	<u>450</u>	<u>20</u>	<u>168</u>
		530	7	217
А30	—	<u>510</u>	<u>15</u>	<u>185</u>
		540	6	223
А40Г	—	<u>590</u>	<u>14</u>	<u>207</u>
		—	—	—
<i>Подшипниковые стали</i>				
ШХ15	370...410	500...730	15...25	190
ШХ15СГ	370...410	590...730	15...25	190

\* В числителе — данные для горячекатаной, в знаменателе — для калиброванной нагартованной стали.

### 10. Механические свойства и режимы термической обработки рессорно-пружинной стали (ГОСТ 14959–79 (в ред. 2002 г.))

Марка стали	Режим термической обработки (ориентировочный)			Механические свойства, не менее			
	Температура закалики, °С	Закалочная среда	Температура отпуска, °С	$\sigma_r, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_b, \text{Н/мм}^2$	$\delta, \%$	$\psi, \%$
65	830	Масло	470	785	980	10	35
70	830	То же	470	835	1030	9	30
75	820	»	470	885	1080	9	30
80	820	»	470	930	1080	8	30
85	820	»	470	980	1130	8	30
60Г	830	»	470	785	980	8	30
65Г	830	»	470	785	980	8	30
70Г	830	»	470	835	1030	7	25
55С2; 55С2А	870	Масло или вода	470	1175	1270	6	30
60С2	870	Масло	470	1175	1270	6	25
70С3А	850	То же	470	1470	1670	6	25
60С2Г	870	»	470	1325	1470	6	25
50ХГ; 50ХГА	850	»	470	1175	1270	7	35

Окончание табл. 10

Марка стали	Режим термической обработки (ориентировочный)			Механические свойства, не менее			
	Температура закалики, °С	Закалочная среда	Температура отпуска, °С	$\sigma_s$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	$\psi$ , %
55ХГР	850	»	470	1175	1270	7	35
60С2А	870	»	420	1375	1570	6	20
50ХФА	850	»	470	1080	1270	8	35
50ХГФА	850	»	470	1325	1420	6	35
55С2ГФ	870	»	470	1375	1570	6	25
60С2ХА	870	»	470	1325	1470	6	25
60С2ХФА	870	»	470	1470	1670	6	25
65С2ВА	850	»	420	1665	1860	5	20
60С2Н2А	870	»	470	1325	1470	8	30

Примечания: 1. Нормы относительного сужения даны только для круглых образцов.

2. Термическую обработку производят на образцах, предназначенных для механических испытаний.

3. Нормы механических свойств относятся к образцам, отобранным от прутков диаметром или толщиной до 80 мм. При испытании прутков диаметром или толщиной свыше 80 до 150 мм допускается уменьшение относительного удлинения на 2 %, относительного сужения на 5 % по сравнению с нормами, указанными в табл. 10. Для прутков диаметром или толщиной свыше 150 мм допускается уменьшение относительного удлинения на 3 %, относительного сужения на 10 %. Нормы механических свойств образцов и прутков из стали диаметром или толщиной свыше 100 мм, парекатанных или перекопанных на квадрат размером 90...100 мм, должны соответствовать нормам, указанным в табл. 10.

## ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

### 11. Механические свойства деформируемых алюминиевых сплавов (ГОСТ 4784-97)

Марка	$\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$	$\psi$	НВ
		%		
АМц (1400)	110	30	70	30
АМг2 (1520)	175	13	—	45
АМг3 (1530)	175	12	—	50
АМг5 (1550)	255	15	—	65
АМг6 (1560)	315	15	—	80
АД31 (1310)	200	8	50	80
АД33 (1330)	270	10	25	—
Д1* <sup>1</sup> (1110)	375	11	30	100
Д16* <sup>1</sup> (1160)	420	7	30	105
АК4* <sup>2</sup> (1140)	375	5	20...25	120
АК6* <sup>2</sup> (1360)	390	6	—	100
АК8* <sup>2</sup> (1380)	450	10	—	135
В95* <sup>2</sup> (1950)	600	7	12	150

\*<sup>1</sup> Для закаленного и естественно состаренного сплава.

\*<sup>2</sup> Для закаленного и искусственно состаренного сплава.

## 12. Механические свойства литейных алюминиевых сплавов (ГОСТ 1583-93)

Группа сплава	Марка сплава	Способ литья	Вид термической обработки	$\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	НВ
				не менее		
I	АК12(АЛ2)	ЗМ, ВМ, КМ	—	147	4,0	50
		К	—	157	2,0	50
		Д	—	157	1,0	50
		ЗМ, ВМ, КМ	T2	137	4,0	50
		К	T2	147	3,0	50
		Д	T2	147	2,0	50
	АК13(АК13)	Д	—	176	1,5	60
	АК9(АК9)	З, В, К, Д, ПД	—	157	1,0	60
		К, Д, ПД	T1	196	0,5	70
		ЗМ, ВМ	T6	235	1,0	80
	АК9с(АК9с)	К, КМ	T6	245	1,0	90
		К, Д	—	147	2,0	50
		К	T1	196	1,5	70
	АК9ч(АЛ4)	К	T6	235	3,5	70
		З, В, К, Д	—	147	2,0	50
		К, Д, ПД, КМ, ЗМ	T1	196	1,5	60
	АК9пч(АЛ4-1)	ЗМ, ВМ	T6	225	3,0	70
		К, КМ	T6	235	3,0	70
		З	T6	225	2,0	70
		З, В, К, Д	—	157	3,0	50
		К, Д, ПД	T1	196	2,0	70
	АК8л(АЛ34)	ЗМ, ВМ	T6	245	3,5	70
		К, КМ	T6	265	4,0	70
		З	T5	294	2,0	85
		З	T4	255	4,0	70
		К	T5	333	4,0	90
		К	T4	274	6,0	80
		Д	—	206	2,0	70
		Д	T1	225	1,0	80
	АК7(АК7)	Д	T2	176	2,5	60
		З	—	127	0,5	60
		К	—	157	1,0	60
		З	T5	176	0,5	75
		К	T5	196	0,5	75
	АК7ч(АЛ9)	Д	—	167	1,0	50
		ПД	—	147	0,5	60
		З, В, К	—	157	2,0	50
		Д	—	167	1,0	50

Продолжение табл. 12

Группа сплава	Марка сплава	Способ литья	Вид термической обработки	$\sigma$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	НВ	
				не менее			
I	AK7ч(АЛ9)	З, В, К, Д	T2	137	2,0	45	
		КМ	T4	186	4,0	50	
		З, В	T4	176	4,0	50	
		К, КМ	T5	206	2,0	60	
		З, В	T5	196	2,0	60	
		ЗМ, ВМ	T5	196	2,0	60	
		ЗМ, ВМ	T6	225	1,0	70	
		ЗМ, ВМ	T7	196	2,0	60	
		ЗМ, ВМ	T8	157	3,0	55	
		К	T6	235	1,0	70	
		К	T7	196	2,0	60	
		К	T8	157	3,0	55	
		AK7пч(АЛ9-1)	З, В	T4	196	5,0	50
			К, КМ	T4	225	5,0	50
			З, В	T5	235	4,0	60
	ЗМ, ВМ		T5	235	4,0	60	
	К, КМ		T5	265	4,0	60	
	ЗМ, ВМ		T6	274	2,0	70	
	К, ВМ		T6	294	3,0	70	
	Д		-	196	1,0	50	
	Д		T2	167	2,0	45	
	ЗМ, ВМ		T7	206	2,5	60	
	ЗМ, ВМ		T8	167	3,5	55	
	AK10Cu(AK10Cu) AK5M2(AK5M2)		К	-	167	1,0	70
			З	-	118	-	65
			К	-	157	0,5	65
			З	T5	196	-	75
		К	T5	206	0,5	75	
		З	T8	147	1,0	65	
		К	T8	176	2,0	65	
Д		-	147	0,5	65		
II		AK5M(AЛ5)	З, В, К	T1	157	0,5	65
	З, В		T5	196	0,5	70	
	К		T5	216	0,5	70	
	З, В		T6	225	0,5	70	
	З, В, К		T7	176	1,0	65	
	К		T6	235	1,0	70	
	AK5Mч(АЛ5-1)	З, В, К	T1	176	1,0	65	
		З, В	T5	274	1,0	70	
		К, КМ	T5	294	1,5	70	
		З, В, К	T7	206	1,5	65	
	AK6M2(AK6M2)	К	T1	196	1,0	70	
		К	-	230	2,0	78	
		К	T5	294	1,0	75	
	AK8M(AЛ32)	З	T6	245	1,5	60	
		К	T1	196	1,5	70	
		К	T6	265	2,0	70	
		Д	-	255	2,0	70	

Продолжение табл. 12

Группа сплава	Марка сплава	Способ литья	Вид термической обработки	$\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	НВ
II	AK5M4(AK5M4)	Д	T2-1	255	1,7	70
		З	T5	235	2,0	60
		К	T5	255	2,0	70
		З	T7	225	2,0	60
		К	T7	245	2,0	60
		З	T1	176	0,5	60
		Д	T1	284	1,0	90
		Д	T2	235	2,0	60
		З	—	118	—	60
		К	—	157	1,0	70
	AK5M7(AK5M7)	К	T6	196	0,5	90
		З	—	127	—	70
		К	—	157	—	70
		К	T1	167	—	90
	AK8M3(AK8M3)	З	T1	147	—	80
		Д	—	118	—	80
		К	—	147	1,0	70
		К	T6	216	0,5	90
	AK8M3ч(ВАЛ8)	К, ПД	T4	343	5,0	90
		К, ПД	T5	392	4,0	110
	AK9M2(AK9M2)	Д	—	294	2,0	75
		Д	T5	343	2,0	90
		Д	T2	215	1,5	60
		З	T5	345	1,0	90
		В	T5	345	2,0	90
		З	T7	270	1,0	80
		К	T7	295	2,5	85
		К	—	186	1,5	70
		Д	—	196	1,5	75
		К	T6	274	1,5	85
AK12M2(AK12M2)	К	T1	206	1,4	80	
	К	—	186	1,0	70	
AK12MMrH(АЛ30)	Д	T1	260	1,5	83	
	К	T1	196	0,5	90	
AK12M2MrH(АЛ25)	К	T6	216	0,7	100	
	К	T1	186	—	90	
	AK12M2,5H2,5	T2	157	—	90	
	(ВКЖЛС-2)	К	T1	186	—	100
III	AM5(АЛ19)	З, В, К	T4	294	8,0	70
		З, В, К	T5	333	4,0	90
		З	T7	314	2,0	80
	AM4,5Кл(ВАЛ10)	З, В	T4	294	10,0	70
		К	T4	314	12,0	80
		З, В	T5	392	7,0	90
		К	T5	431	8,0	100
		З, В	T6	421	4,0	110
		К	T6	490	4,0	120
		З	T7	323	5,0	90

Окончание табл. 12

Группа сплава	Марка сплава	Способ литья	Вид термической обработки	$\sigma$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	НВ
				не менее		
IV	АМгК1,5 (АМг4К1,5М1)	К	T2	211	2,0	81
		К	T6	265	2,3	104
	АМг5К(АЛ13)	З, В, К	—	147	1,0	55
		Д	—	167	0,5	55
	АМг5Мц(АЛ28)	З, В	—	196	4,0	55
		К	—	206	5,0	55
		Д	—	206	3,5	55
	АМг6л(АЛ23)	З, В	—	186	4,0	60
		К, Д	—	216	6,0	60
		З, К, В	T4	225	6,0	60
	АМг6лч(АЛ23-1)	З, В	—	196	5,0	60
		К, Д	—	235	10,0	60
		З, К, В	T4	245	10,0	60
	АМг10(АЛ27)	З, К, Д	T4	314	12,0	75
	АМг10ч(АЛ27-1)	З, О, К, Д	T4	343	15,0	75
	АМг11(АЛ22)	З, В, К	—	176	1,0	90
		З, В, К	T4	225	1,5	90
АМг7(АЛ29)	Д	—	196	1,0	90	
	Д	—	206	3,0	60	
	V	АК7Ц9(АЛ11)	З, В	—	196	2,0
К			—	206	1,0	80
Д			—	176	1,0	60
З, В, К			T2	216	2,0	80
АК9Ц6(АК9Ц6р)		З	—	147	0,8	70
		К, Д	—	167	0,8	80
АЦМг(АЛ24)		З, В	—	216	2,0	60
		З, В	T5	265	2,0	70

Примечания: 1. Условные обозначения способов литья: З – литье в песчаные формы; В – литье по выплавляемым моделям; К – литье в кокиль; Д – литье под давлением; ПД – литье с кристаллизацией под давлением (жидкая штамповка); О – литье в оболочковые формы; М – сплав подвергается модифицированию.

2. Условные обозначения видов термической обработки: T1 – искусственное старение без предварительной закалки; T2 – отжиг; T4 – закалка; T5 – закалка и кратковременное (неполное) искусственное старение; T6 – закалка и полное искусственное старение; T7 – закалка и стабилизирующий отпуск; T8 – закалка и смягчающий отпуск.

3. Механические свойства сплавов АК7Ц9 и АК9Ц6 определяются спустя не менее одних суток естественного старения.

4. Механические свойства, указанные для способа литья В, распространяются также на литье в оболочковые формы.



## 13. Механические свойства латуней

Марка	$\sigma_b, \text{H/mm}^2$		$\delta, \%$		НВ	
	Твердая	Мягкая	Твердая	Мягкая	Твердая	Мягкая
	<i>Латуни, обрабатываемые давлением (ГОСТ 15527-70 (с ред. 1999 г.))</i>					
Л96	412...470	216...235	1...3	45...55	130...145	50...60
Л90	432...510	235...275	2...4	45...55	130...145	50...60
Л85	520...568	254...295	2...5	45...55	134...145	52...62
Л80	600...667	295...343	2...5	45...55	140...150	55...65
Л70	618...686	295...343	3...6	50...60	150...165	55...65
Л68	649...726	295...343	3...5	50...60	145...165	55...65
Л63	667...735	372...441	2...4	40...50	150...160	60...70
Л60	638...735	362...412	2...4	40...50	155...165	60...70
ЛА77-2	540...638	343...441	7...11	45...52	150...160	45...55
ЛАЖ60-1-1	686...735	392...441	7...10	45...52	165...175	45...55
ЛАН59-3-2	638...735	441...540	7...11	40...50	175...185	110...120
ЛЖНц59-1-1	616...735	421...470	5...10	45...55	155...165	85...95
ЛН65-5	667...735	373...441	3...6	60...65	160...170	55...65
ЛМц58-2	667...735	373...441	5...7	38...45	170...180	80...90
ЛМцА57-3-1	686...735	441...490	4...8	40...50	175...185	85...95
ЛО90-1	470...550	245...302	3...6	42...50	140...150	53...61
ЛО70-1	667...735	302...373	3...5	55...65	145...155	55...65
ЛО62-1	667...735	373...420	5...10	38...44	140...150	75...85
ЛО60-1	510...610	352...441	3...5	38...44	150...155	72...82
ЛС63-3	540...638	295...392	3...6	40...50	135...245	45...55
ЛС74-3	588...686	295...392	2...5	40...55	140...150	50...60

Окончание табл. 13

Марка	$\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>		$\delta$ , %		НВ	
	Твердая	Мягкая	Твердая	Мягкая	Твердая	Мягкая
ЛС64-2	570...658	314...373	4...6	55...65	140...150	50...60
ЛС60-1	588...686	295...392	4...6	45...55	150...160	60...70
ЛС59-1	588...686	295...392	4...6	40...50	150...160	70...80
ЛС59-1В	588...686	295...392	4...6	40...50	150...160	70...80
ЛЖС58-1-1	638...735	344...441	2...5	35...45	160...170	75...85
ЛК80-3	569...638	274...333	3...5	53...60	170...190	95...105
ЛМш68-0,05	664...735	314...363	3...5	50...60	150...160	52...60
ЛАМш77-2-0,05	490...588	245...344	2...4	40...55	160...170	60...70
ЛЮМш70-1-0,05	608...686	314...373	2...4	50...60	140...150	50...68
ЛАНКМш75-2-2,5-0,5-0,5	835...935	490...588	6...10	45...55	290...310	—
<i>Литейные сплавы (ГОСТ 17711-93)</i>						
ЛЦ40Мц3Ж	—	441	—	18	—	90
ЛЦ40Мц3А	—	441	—	15	—	115
ЛЦ38Мц2С2	—	245	—	15	—	80
ЛЦ40С	—	215	—	12	—	70
ЛЦ40Сд	—	264	—	18	—	100
ЛЦ40Мц1,5	—	372	—	20	—	100
ЛЦ30А3	—	294	—	12	—	80
ЛЦ16К4	—	294	—	15	—	100
ЛЦ14К3С3	—	245	—	7	—	90
ЛЦ25С2	—	146	—	8	—	60
ЛЦ23А6Ж3Мц2	—	686	—	7	—	160
ЛЦ37Мц2С2К	—	343	—	2	—	110

## 14. Химический состав и механические свойства литейных оловянных бронз (ГОСТ 613-79)

Марка	Химический состав* <sup>1</sup>			$\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	НВ
	Pb	Zn	Sn			
БрО3Ц12С5	3,0...6,0	8,0...15,0	2,0...3,5	176,2...206	5...8	60
БрО3Ц7С5Н1 (0,5 – 2 % Ni)	3,0...6,0	6,0...9,5	2,5...4,0	176,2...206	5...8	60
БрО4Ц7С5	4,0...7,0	6,0...9,0	3,0...5,0	147...176,2	4...6	60
БрО4Ц4С17	14,0...20	2,0...6,0	3,5...5,5	147	5...12	60
БрО5Ц5С5	4,0...6,0	4,0...6,0	4,0...6,0	147...176,2	4...6	60
БрО6Ц6С3	2,0...4,0	5,0...7,0	5,0...7,0	147...176,2	4...5	60
БрО8Ц4	–	4,0...6,0	7,0...9,0	196	10	75
БрО10Ф1* <sup>2</sup>	–	–	9,0...11,0	215,5...245	3	80
БрО10Ц2	–	1,0...3,0	9,0...11,0	215,5...225,5	10	70
БрО10С10	8,0...11,0	–	9,0...11,0	176,2...196	6...7	70

\*<sup>1</sup> Остальное медь.\*<sup>2</sup> Содержит 0,4...1,1 % фосфора.

## 15. Химический состав и механические свойства литейных безоловянных бронз (ГОСТ 493-79)

Марка	Химический состав*					$\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	НВ
	Al	Fe	Mn	Ni	Pb			
БрА9Мц2Л	8,0...9,5	–	1,5...2,5	–	–	392	18...22	80
БрА10Мц2Л	9,6...11,0	–	1,5...2,5	–	–	490	10...14	110
БрА9Ж3Л	8,0...10,5	2,0...4,0	–	–	–	490	8...14	100
БрА10Ж3Мц2	9,0...11,0	2,0...3,0	1,0...3,0	–	–	490	10...14	110
БрА10Ж4Н4Л	9,5...11,6	3,5...5,5	–	3,5...5,5	–	588	6	165
БрА11Ж6Н6	10,5...11,5	5,0...6,5	–	5,0...6,5	–	588	1...3	250
БрА9Ж4Н4Мц1	8,8...10,0	4,0...5,0	0,5...1,2	4,0...5,0	–	587	12	160
ВрС30	–	–	–	–	27,0...31,0	58,7	4	25

\* Остальное медь.

## 16. Механические свойства медно-никелевых сплавов (ГОСТ 492-73 (в ред. 1989 г.))

Название	Марка	$E$	$\sigma_b$	$\delta$ , %
		Н/мм <sup>2</sup>		
Мельхиор »	МНЖМц 30-1-1	145 000	350...650	3...5
	МН19	140 000	300...600	2,5...5
Нейзильбер	МНц15-20	130 000	400...720	2...3
Куниаль А	МНА13-3	–	380...1000	2...4
Кунналь Б	МНА6-1,5	–	300...900	4...6

17. Механические свойства бронз, обрабатываемых давлением

Марка	σ <sub>в</sub> , Н/мм <sup>2</sup>		δ, %		HB	
	Твердая	Мягкая	Твердая	Мягкая	Твердая	Мягкая
<i>Оловянные бронзы (ГОСТ 5017-74 (в ред. 1979 г.))</i>						
БРОФ8-0,3	1000...1200	400...500	1...2	55...65	180...240	90...100
БРОФ7-0,2	900...1100	400...450	1...2	55...65	175...230	85...95
БРОФ6,5-0,4	700...800	300...450	7...10	60...70	170...220	70...90
БРОФ6,5-0,15	700...800	300...400	7...10	45...50	170...210	55...70
БРОФ4-0,25	500...700	300...400	6...10	45...58	160...170	55...70
БРОЦ4-3	500...600	300...400	3...6	35...45	150...170	50...70
БРОЦС4-4-2,5	550...650	300...350	2...4	35...45	150...170	50...70
БРОЦС4-4-4	500...600	300...350	1...2	30...40	—	—
<i>Безоловянные бронзы (ГОСТ 18175-78 (в ред. 1988 г.))</i>						
БрА7	950...1000	450...500	2...4	65...75	200...220	65...75
БрАМц9-2	600...800	400...600	4...5	20...40	160...180	110...130
БрАЖ9-4	500...700	400...500	4...6	25...45	160...200	100...120
БрАЖН10-4-4	750...800	450...550	9...15	35...45	180...220	130...150
БрБ2	600...950	400...600	2...4	400...50	350*	130...150
БрБНТ1,9	600...900	400...600	1...3	30...50	340*	120...140
БрМц5	500...600	300...350	—	—	150...170	70...90
БрКМц3-1	650...750	350...400	6...8	50...60	150...170	70...90
БрКН1-3	500...600	400...450	6...8	25...30	150...200	80...100

\* После закалки при 790 °С и старении при 320 °С.

## 18. Физические свойства медно-никелевых сплавов (ГОСТ 492-73 (в ред. 1989 г.))

Название	Марка	$\rho^{*1}$ , мкОм · м	$\alpha \cdot 10^6$ , К <sup>-1</sup>	$\alpha'$ , К <sup>-1*2</sup>
Копель	МНМц43-0,5	0,49	14,0	-0,00014
Константан	МНМц40-1,5	0,48	14,4	+0,00002
Манганин	МНМц3-12	0,435	16,0	+0,00003
Манганин	МНМцАЖ3-12-0,3-0,3	—	—	—

\*<sup>1</sup> Удельное электрическое сопротивление.\*<sup>2</sup> Температурный коэффициент электрического сопротивления.

## 19. Механические свойства антифрикционных цинковых сплавов (ГОСТ 21437-95)

Марка	$\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	НВ	Марка	$\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	НВ
ЦАМ10-5	350	4,0	90	ЦАМ9-1,5	294	10	85
ЦАМ10-5Л*	245	0,4	100	ЦАМ9-1,5Л*	245	1,0	95

\* Литейные сплавы.

## 20. Механические свойства титановых сплавов

Марка	$\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %, не менее	Марка	$\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %, не менее
<i>Литейные</i>			<i>Деформируемые (ГОСТ 19807-91)</i>		
BT5Л	780	6	BT1-0	400...550	20
BT3-1Л	950	4	BT-1	1000...1200	10
BT6Л	850	5	OT4	700...900	11
BT9Л	950	4	BT5-1	800...1000	10
BT14Л	900	5	BT6	920...1070	10
BT21Л	1000	4	BT14	900...1100	10

## 21. Физико-механические свойства баббитов (ГОСТ 1320-74 (в ред. 1998 г.))

Марка	НВ, (при 20 °С)	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{сж}$	Температура, °С		
		Н/мм <sup>2</sup>		начала плавления	плавления	заливки
Б88	27...30	—	—	—	320	380...420
Б83	27...30	78,5...83,5	108...117	240	370	440...460
Б83С	27...30	—	—	230	400	440...460
БН	27...30	69...73	124...128	240	400	480...500
Б16	30	84	144	240	410	480...500
БС6	15...17	—	—	247	280	—

## СПЛАВЫ ТВЕРДЫЕ СПЕЧЕННЫЕ

## 22. Сплавы твердые спеченные (ГОСТ 3882-74 (в ред. 2002 г.))

Группа	Марка	Код ОКП	Физико-механические свойства		
			$\sigma_{г.изг.}$ , Н/мм <sup>2</sup> , не менее	$\rho$ , $\times 10^3$ кг/м <sup>3</sup>	Твердость HRA, не менее
Вольфрамовая	ВК3	196522	1176	15,0...15,3	89,5
	ВК6	196524	1519	14,6...15,0	88,5
	ВК3М	196511	1176	15,0...15,3	91,0
	ВК6М	196512	1421	14,8...15,1	90,0
	ВК6ОМ	196516	1274	14,7...15,0	90,5
	ВК6В	196532	1666	14,6...15,0	87,5
	ВК8	196525	1666	14,5...14,8	88,0
	ВК8В	196533	1813	14,4...14,8	86,5
	ВК8ВК	196535	1764	14,5...14,8	87,5
	ВК10	196526	1764	14,2...14,6	87,0
	ВК10ХОМ	196552	1470	14,3...14,7	89,0
	ВК4В	196531	1470	14,9...15,2	88,0
	ВК11В	196534	1960	14,1...14,4	86,0
	ВК10КС	196536	1862	14,2...14,6	85,0
	ВК20	196528	2058	13,4...13,7	84,0
	ВК11ВК	196537	1862	14,1...14,4	87,0
	ВК15	196527	1862	13,9...14,4	86,0
ВК20КС	196538	2107	13,4...13,7	82,0	
Титановоль- фрамовая	Т30К4	196614	980	9,5...9,8	92,0
	Т15К6	196613	1176	11,1...11,6	90,0
	Т14К8	196612	1274	11,2...11,6	89,5
	Т5К10	196611	1421	12,5...13,1	88,5
Титанотанта- ловольфрамо- вая	ТТ7К12	196621	1666	13,0...13,3	87,0
	ТТ8К6	196623	1323	12,8...13,3	90,5
	ТТ10К8В	196622	1617	13,5...13,8	89,0
	ТТ20К9	196624	1470	12,0...12,5	91,0
	Т8К7	196616	1519	12,8...13,1	90,5

## СОРТАМЕНТ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТАЛИ И СПЛАВОВ

Сталь различного качества поставляют в виде обжатой (квадратной) болванки; кованой круглой и квадратной (ГОСТ 1133–71); горячекатаной круглой (ГОСТ 2590–88), квадратной (ГОСТ 2591–88) и шестигранной (ГОСТ 2879–88), калиброванной круглой, квадратной и шестигранной; круглой со специальной отделкой поверхности (серебряника) (ГОСТ 14955–77 (в ред. 1988 г.)) со следующими номинальными размерами, мм (диаметр, сторона квадрата, диаметр круга, вписанного в шестиугольник):

болванка обжатая – 140; 160; 180; 190; 200; 220; 250; 280; 300; 320; 360; 400; 450;

сталь кованая круглая и квадратная – от 40 до 200 мм (диаметр или сторона квадрата);

сталь горячекатаная круглая – 5; 5,5; 6,3; 6,5; 7; далее до 48 мм через 1 мм; 52; 53; 54; 55; 56; 57; 58; 60; 62; 63; 65; 67; 68; 70; 72; 75; 78; 80; 82; 85; далее до 135 через 5 мм; от 160 до 250 через 10 мм;

сталь горячекатаная квадратная – от 6 до 200 мм (размер сторон);

сталь горячекатаная шестигранная – от 8 до 100 мм (диаметр вписанного круга);

сталь калиброванная круглая, квадратная, шестигранная – 3; 3,2; 4; 5; 5,5; 6; 6,3; 7; далее до 30 мм через 1 мм; 32; 34; 36; 38; 41; 42; 45; 46; 48; 50; 53; 55; 56; 60; 63; 65; далее до 100 через 5 мм;

сталь серебряника – 0,2; 0,25; 0,3; далее до 3 через 0,05 мм; от 3,1 до 10 через 0,1 мм; от 10,25 до 14 через 0,25 мм; 14,5; 15; 16; 17; 18; 18,5; 19; 19,5; 20; далее до 50 через 1 мм.

Листовую горячекатаную (ГОСТ 19903–74 (в ред. 1989 г.)) и холоднокатаную (ГОСТ 19904–90) стали выпускают в виде листов и рулонов (табл. 23, 24).

Толстолистовую коррозионно-стойкую, жаростойкую и жаропрочную стали (ГОСТ 7350–77 (в ред. 1990 г.)) выпускают в виде листов толщиной 4...50 мм; размеры листов должны соответствовать ГОСТ 19903–74 (в ред. 1989 г.).

Тонколистовую конструкционную легированную высококачественную сталь специального назначения (ГОСТ 11268–76 (в ред. 1997 г.)) изготавливают с размерами, регламентированными ГОСТ 19903–74 (в ред. 1989 г.) и ГОСТ 19904–90.

Стальную горячекатаную ленту (ГОСТ 6009–74 (в ред. 1985 г.)) выпускают шириной 2...220 мм и толщиной 1,5...5,0 мм.

Стальные горячекатаные полосы изготавливают шириной 12...200 мм при толщине 4...60 мм.

Ширина	Толщина
12, 14 .....	От 4 до 8 через 1 мм
16 .....	» 4 » 10 » 1 мм; 12
18 .....	» 4 » 10 » 1 мм
20...22 .....	» 4 » 12 » 1 мм
25, 28 .....	» 4 » 12 » 1 мм; 14; 16
30, 32, 36 .....	» 4 » 12 » 1 мм; 14; 16; 18; 20
40 .....	» 4 » 12 » 1 мм; от 14 до 22 через 2 мм; 25; 28; 32
45; 50; 56 .....	От 4 до 12 через 1 мм; от 14 до 22 через 2 мм; 25; 28; 30
60; 63; 65; 70; 75 .....	От 4 до 12 через 1 мм; от 14 до 22 через 2 мм; 25; 28; 30; 32; 36; 40; 45
80 .....	От 4 до 12 через 1 мм; от 14 до 22 через 2 мм; 25; 28; 30; 32; 36; 40; 45; 50; 56
От 80 до 130 через 5 мм .....	От 4 до 12 через 1 мм; от 12 до 22 через 2 мм
От 140 до 200 через 10 мм .....	25; 28; 30; 36; 40; 45; 50; 56; 60

Низкоуглеродистую качественную проволоку (ГОСТ 792–67 (в ред. 1990 г.)) выпускают без покрытия (светлую КС) и с покрытием (оцинкованную КО) диаметром 0,5...6,0 мм.

Стальную углеродистую пружинную холоднокатаную проволоку (ГОСТ 9389–75

(в ред. 2002 г.)) в зависимости от механических свойств изготавливают четырех классов: 1, 2, 2А и 3 диаметром от 0,14 до 8,0 мм, марок А, Б, В.

Круглую холоднокатаную проволоку (ГОСТ 2771–81 (в ред. 1989 г.)) выпускают из стали, меди, алюминия и др. (табл. 25).

## 23. Листовая горячекатаная сталь. Размеры, мм

Толщина	Ширина	Длина
<i>В листах</i>		
0,4...0,6	500...1000	710...2000
0,63...0,75	500...1250	700...2500
0,8...0,9	500...1250	700...2500
1,0	600...1250	1420...2500
1,2...1,4	600...1250	1420...3000
1,5...1,8	600...1500	1420...6000
2,0...2,2	600...1500	1420...6000
2,5...2,8	600...1500	2000...6000
3,0...3,9	600...1800	2000...6000
4,0...5,6	600...1800	2000...6000
6,0...7,5	700...1800	2000...7000
8,0...10,5	700...1800	2000...12 000
11,0...12,5	1000...1800	2000...12 000
13,0...25,5	1000...1800	2500...12 000
42...160	1250...1800	2500...9000
<i>В рулонах</i>		
1,2...12,0	500...630	—
1,5...12,0	650...950	—
3,0...12,0	1600...1800	—
6,0...10,0	1900...2000	—
7,0...10,0	2100...2200	—

## 24. Листовая холоднокатаная сталь. Размеры, мм

Наименование размера	Ряд размеров
Толщина	0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,55; 0,60; 0,65; 0,70; 0,75; 0,80; 0,90; 1,00; 1,10; 1,20; 1,30; 1,40; 1,50; 1,60; 1,70; 1,80; 2,00; 2,20; 2,50; 2,80; 3,00; 3,20; 3,50; 3,80; 3,90; 4,00; 4,20; 4,50; 4,80; 5,00
Ширина	500; 550; 600; 650; 700; 750; 800; 850; 900; 950; 1000; 1100; 1200; 1250; 1400; 1450; 1500; 1600; 1700; 1800; 1900; 2000; 2100; 2200; 2300; 2350
Длина*	1000; 1100; 1200; 1300; 1400; 1420; 1500; 2000; 2200; 2500; 2800; 3000; 3500; 4000; 4200; 4500; 4750; 5000; 5500; 6000

\* Только для листов; развернутая длина рулонов не регламентируется.



Прутки латунные (ГОСТ 2060–90 (в ред. 1993 г.)) круглого, квадратного и шестигранного сечений выпускают размером 3...50 мм (тянутые) и 10...160 мм (прессованные). Тянутые прутки выпускают из латуни Л63; ЛС59-1; ЛО62-1; ЛЖС58-1-1; ЛМц58-2; ЛЖМц59-1-1; ЛС63-3; прессованные прутки – из латуни Л63; ЛО62-1; ЛМц58-2; ЛЖМц59-1-1; ЛАЖ60-1-1; ЛЖС58-1-1; ЛС59-1.

Листы и полосы латунные (ГОСТ 931–90). Горячекатаные листы толщиной 5...22; 24 и 25 мм

выпускают размерами 500 × 4000 мм из латуни Л63; ЛО62-1; ЛС59-1; ЛМц58-2. Холоднокатаные листы толщиной 0,4...12 мм выпускают размерами 710 × 1410; 500 × 1500; 800 × 2000 мм из латуни Л63; Л80; Л85; Л90; ЛС59-1.

Плиты из магниевых сплавов (ГОСТ 21990–76 (в ред. 1993 г.)) горячекатаные толщиной 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 27; 30; 32; 35; 40; 45 и 50 мм, шириной 500; 600; 700; 800; 900 и 1000 мм, длиной 1000...3000 мм выпускают из сплавов МА2-1; МА2-1п.ч. и МА-8.

### 25. Сортамент круглой холодноотянутой проволоки (ГОСТ 2771–81 (в ред. 1989 г.))

Номинальные диаметры $d$ , мм, проволоки для рядов				Номинальные диаметры $d$ , мм, проволоки для рядов			
R5	R10	R20	R40	R5	R10	R20	R40
0,010	0,010	0,010	0,009	0,160	0,160	0,160	0,120
			0,010				0,130
			0,011				0,140
			0,012				0,150
			0,014				0,160
			0,016				0,170
			0,018				0,180
			0,020				0,190
			0,022				0,200
			0,025				0,200
0,025	0,025	0,025	0,025	0,250	0,250	0,250	0,210
			0,028				0,220
			0,032				0,240
			0,036				0,250
			0,040				0,260
			0,045				0,280
			0,050				0,300
			0,056				0,320
			0,063				0,320
			0,063				0,360
0,063	0,063	0,063	0,063	0,400	0,400	0,400	0,340
			0,070				0,360
			0,080				0,380
			0,090				0,400
			0,100				0,420
			0,105				0,450
0,100	0,100	0,100	0,100	0,400	0,400	0,400	0,480
			0,110				0,450
			0,110				0,480

Окончание табл. 25

Номинальные диаметры $d$ , мм, проволоки для рядов				Номинальные диаметры $d$ , мм, проволоки для рядов			
R5	R10	R20	R40	R5	R10	R20	R40
	0,500	0,500	0,500				3,00
			0,530		3,20	3,20	3,20
		0,560	0,560				3,40
			0,600			3,60	3,60
0,630	0,630	0,630	0,630				3,80
			0,670	4,00	4,00	4,00	4,00
		0,700	0,700				4,20
			0,750			4,50	4,50
	0,800	0,800	0,800				4,80
			0,850				5,00
		0,900	0,900		5,00	5,00	5,00
			0,950				5,30
1,000	1,000	1,000	1,000			5,60	5,60
1,00	1,00	1,00	1,00				6,00
			1,05	6,30	6,30	6,30	6,30
		1,10	1,10				6,70
			1,15			7,00	7,00
	1,20	1,20	1,20				7,50
			1,30		8,00	8,00	8,00
		1,40	1,40				8,50
			1,50			9,00	9,00
1,60	1,60	1,60	1,60				9,50
			1,70	10,00	10,00	10,00	10,00
		1,80	1,80				10,5
			1,90			11,0	11,0
	2,00	2,00	2,00				11,5
			2,10				12,0
		2,20	2,20		12,0	12,0	12,0
			2,40				13,0
2,50	2,50	2,50	2,50			14,0	14,0
			2,60				15,0
		2,80	2,80	16,0	16,0	16,0	16,0

## 26. Основной сортамент стальных труб

Трубы	Наружный диаметр	Толщина стенки	Длина, м	ГОСТ
	мм			
Малых размеров	0,32...4,80	0,1...1,6	0,3...7,0	14162-79 (в ред. 1990 г.)
Прецизионные:				
горячекатаные	250...325	2,5...50,0	4,0...12,0	9567-75 (в ред. 1986 г.)
калиброванные	4,0...710	0,2...32,0	1,0...11,5	9567-75 (в ред. 1986 г.)
Особо тонкостенные бесшовные из коррозионно-стойкой стали	4,0...120,0	0,12...1,0	0,5...8,0	10498-82 (в ред. 1987 г.)
Бесшовные холоднодеформированные	5,0...250,0	0,3...24,0	1,5...12,5	8734-75 (в ред. 1989 г.)
Электросварные холоднодеформированные	5,0...110,0	0,5...5,0	1,5...9,0	10707-80 (в ред. 1992 г.)
Электросварные прямошовные	100...1420	1,0...32,0	2,0...12,0	10704-91
Бесшовные горячедеформированные из коррозионно-стойкой стали	57,0...325	3,5...32,0	1,5...10,0	9940-81 (в ред. 2001 г.)
Бесшовные холодно- и теплодеформированные из коррозионно-стойкой стали	5,0...273	0,2...22,0	0,75...12,5	9941-81 (в ред. 2002 г.)
Водогазопроводные сварные	10,2...165	1,8...5,5	4,0...12,0	3262-75 (в ред. 1992 г.)
Бесшовные высокого давления	6,0...25,0	1,1...10,0*	0,5...4,0	11017-80 (в ред. 1989 г.)
Для мотовелопромышленности:				
бесшовные	6,0...102,0	0,8...7,5	1,5...9,0	12132-66 (в ред. 1992 г.)
электросварные	6,0...102,0	0,8...7,5	1,5...9,0	12132-66 (в ред. 1992 г.)

\* Указаны размеры внутреннего диаметра.

## 27. Размеры листов, мм, из алюминия и его сплавов (ГОСТ 21631-76 (в ред. 1989 г.))

Состояние материала листов	Марка алюминия и алюминиевого сплава и плакировка	Толщина листа	Ширина листа	Длина листа
Без термической обработки	A7, A6, A5, A0	От 5,0 до 10,5	600, 800, 900	2000
	AD0, AD1, AD00, AD			
	AD0, AD1, AD00, AD, AMц, AMцС, AMг2, AMг3, AMг5, AMг6, AMг6Б, АВ, Д1А, Д16А, В95-1А, В95-1, В95-2А, ВД1А, ВД1Б, ВД1, АКМА		1000, 1200 1400, 1500, 1600, 1800, 2000	От 2000 до 7000

Продолжение табл. 27

Состояние материала листов	Марка алюминия и алюминиевого сплава и плакировка	Толщина листа	Ширина листа	Длина листа
Без термической обработки	B95 A	От 5,0 до 10,5	1000, 1200, 1425, 1500, 2000	От 2000 до 7000
	1915		1200, 1500, 200	
Отожженные	A7, A6, A5, A0, АД0, АД1, АД00, АД	От 0,3 до 10,5	600, 800, 900, 1000	2000
	A7, A6, A5, A0, АД0, АД1, АД00, АД, АМц, АМцС, АВ, АМг2	От 0,5 до 0,7	1000, 1200, 1400, 1500, 1600	От 2000 до 4000
		Св. 0,7 до 10,5	1000, 1200, 1400, 1500, 1600, 1800, 2000	От 2000 до 7000
	АМг3, АМг5, АМг6, АМг6Б	От 0,5 до 0,7	1000, 1200, 1400, 1500, 1600	
		Св. 0,7 до 10,5	1000, 1200, 1400, 1500, 1600, 1800, 2000	
	АМг6У	Св. 2,0 до 5,5	1600, 1800, 2000	
	Д12	От 0,5 до 4,0	1200, 1500	От 3000 до 4000
	Д1А, Д16Б, Д16, Д16А	От 0,5 до 0,7	1000, 1200, 1400, 1500, 1600	От 2000 до 4000
		Св. 0,7 до 4,0	1000, 1200, 1400, 1500, 1600, 1800, 2000	От 2000 до 7000
		Св. 4,0 до 10,5		
	Д16У	От 0,5 до 0,7	1200, 1500	От 2000 до 4000
		Св. 0,7 до 4,0		От 2000 до 7000

Продолжение табл. 27

Состояние материала листов	Марка алюминия и алюминиевого сплава и плакировка	Толщина листа	Ширина листа	Длина листа
Отожженные	В95А	От 0,5 до 0,7	1000, 1200, 1425, 1500	От 2000 до 4000
		Св. 0,7 до 4,0	1000, 1200, 1425, 1500, 2000	
		Св. 4,0 до 10,5		
	В95-2А, В95-2Б, В95-1А, АКМЕ, АКМА, АКМ	От 1,0 до 10,5	1200, 1400, 1500	От 2000 до 7000
	ВД1А, ВД1, ВД1Б	От 0,8 до 10,5	1000, 1200, 1400, 1500, 1600, 1800, 2000	
	1915	0,8	1200	От 2000 до 5000
От 1,0 до 4,5		1200, 1500		
Полунагартованные	А7, А6, А5, А0, АД0, АД1, АД00, АД	От 0,8 до 4,5	1000, 1200, 1400, 1500	От 2000 до 4000
	АМц, АМцС, АМг2, АМг3	От 0,5 до 0,7	1000, 1200, 1400, 1500, 1600	От 2000 до 7000
		Св. 0,7 до 4,0	1000, 1200, 1400, 1500, 1600, 1800, 2000	
	Д12	От 0,5 до 4,0	1200, 1500	От 3000 до 4000
Нагартованные	А7, А6, А5, А0, АД0, АД1, АД00, АД	От 0,3 до 10,5	600, 800, 900, 1000	2000
	А7, А6, А5, А0, АД0, АД1, АД00, АД	От 0,5 до 0,7	1000, 1200, 1400, 1500, 1600	От 2000 до 7000
		Св. 0,7 до 4,0	1000, 1200, 1400, 1500, 1600, 1800, 2000	
	ММ	От 1,0 до 4,05	1000, 1200, 1400, 1500	От 2000 до 4000

Окончание табл. 27

Состояние материала листов	Марка алюминия и алюминиевого сплава и плакировка	Толщина листа	Ширина листа	Длина листа	
Нагартованные	АМц, АМцС, АМг2	От 0,5 до 0,7	1000, 1200, 1400, 1500, 1600	От 2000 до 7000	
		Св. 0,7 до 4,0	1000, 1200, 1400, 1500, 1600, 1800, 2000		
	ВД1Б, ВД1А, ВД1, АКМА	От 0,8 до 4,0	1000, 1200, 1500		
Закаленные и естественно состаренные	АВ, Д1А, Д16Б, Д16, Д16А	От 0,5 до 0,7	1000, 1200, 1400, 1500, 1600	От 2000 до 5000	
		Св. 0,7 до 10,5	1000, 1200, 1400, 1500, 1600, 1800, 2000	От 2000 до 7200	
	Д16У	От 0,5 до 4,0	1200, 1500	От 2000 до 5000	
	В95-2А, ВД1А, ВД1, ВД1Б, В95-1А, АКМА	От 0,8 до 10,5	1000, 1200, 1500, 1600, 1800, 2000		От 2000 до 7000
		1915	От 1,0 до 4,5		1200, 1500
Св. 4,5 до 10,5	1200, 1500, 2000		От 2000 до 7000		
Закаленные и искусственно состаренные	АВ	От 0,5 до 0,7	1000, 1200, 1400, 1500, 1600	От 2000 до 5000	
		Св. 0,7 до 10,5	1000, 1200, 1400, 1500, 1600, 1800, 2000	От 2000 до 7000	
	В95А	От 0,5 до 0,7	1000, 1200, 1425, 1500	От 2000 до 5000	
		Св. 0,7 до 4,0	1000, 1200, 1425, 1500, 2000	От 2000 до 7200	
		Св. 4,0 до 10,5		От 2000 до 7000	
	Нагартованные после закалки и естественного старения	Д16Б, Д16, Д16А	От 1,5 до 7,5	1000, 1200, 1400, 1500	От 2000 до 7200

## 28. Сортамент круглых труб из цветных металлов и сплавов

Трубы	Наружный (внутренний) диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Длина труб, м	ГОСТ
Бронзовые прессованные	42...280	5,0...60	0,5...6,0	1208-90
Тонкостенные из никеля и его сплавов	0,35...5,40	0,05...0,2	0,5 и более	13548-77 (в ред. 1992 г.)
Латунные для теплообменных аппаратов	10...50	0,8...3,0	1,5...12	21646-76 (в ред. 1991 г.)
Мельхиоровые для теплообменных аппаратов	10...50	0,8...4	1,0...6,0	10092-75 (в ред. 1992 г.)
Медные	3...360	0,8...30	1,0...6,0	617-90
Из медно-никелевого сплава МНЖ5-1	6...260	1,0...10	1,0...6,0	17217-79 (в ред. 1990 г.)
Из бескислородной меди	3...280	0,5...30	0,5...6,0	15040-77 (в ред. 1998 г.)
Тонкостенные медные и латунные	1,5...28	0,15...0,7	1,0...3,0	11383-75 (в ред. 1991 г.)
Прессованные из магниевых сплавов	16...50	1,5...3,0	2,0...4,0	19441-74 (в ред. 1990 г.)
Бесшовные горячекатаные из сплавов на основе титана	83...480	6...65	1,5...6,0	21945-76 (в ред. 1987 г.)
Свинцовые	(8...150)	2,0...10	Не менее 1,8	167-69 (в ред. 1990 г.)
Манометрические из бронзы БрОФ4-0,25 и латуни Л63	8...22	0,2...1,6	1,0...3,5	2622-75 (в ред. 1990 г.)
Радиаторные	4...10	0,1...0,15	0,15...4,0	529-78 (в ред. 1983 г.)
Латунные	3...195	0,5...42,5	1,0...6,0	494-90

## 29. Сортамент прессованных прутков из алюминия и алюминиевых сплавов

Номинальный размер, мм	Предельное отклонение для точности, мм		Площадь сечения, мм <sup>2</sup>		
	нормальной	повышенной	Круг	Квадрат	Шестигранник
5	0,40	0,30	19,6	-	-
6			28,3	-	-
7	0,58	0,36	38,5	49	42,4
8			50,3	64	55,4
9			63,6	81	70,1
10			78,5	100	86,6

Продолжение табл. 29

Номинальный размер, мм	Предельное отклонение для точности, мм		Площадь сечения, мм <sup>2</sup>		
	нормальной	повышенной	Круг	Квадрат	Шестигранник
11	0,70	0,43	95,0	121	104,8
12			113,1	144	124,7
13			132,7	169	169,7
14			153,9	196	204,2
15			176,7	225	—
16			201,1	256	—
17			227,0	289	250,3
18			254,5	324	—
19	0,84	0,52	283,5	361	312,6
20			314,2	400	—
22			380,1	484	419,2
23			415,5	—	—
24			452,1	576	498,8
25			490,9	625	—
26			530,9	676	—
27			572,6	729	631,3
28			615,8	784	—
30			706,9	900	779,4
32			1,00	0,62	804,2
34	907,9	1156			—
35	962,1	—			—
36	1017,9	1296			1122,4
38	1134,1	1444			—
40	1256,6	1600			—
41	—	—			1455,8
42	1385,4	1764			—
44	—	1936			—
45	1590,4	—			—
46	1661,9	2116			1832,5
48	1809,6	2304			—
50	1963,5	2500			2165,1



Окончание табл. 29

Номинальный размер, мм	Предельное отклонение для точности, мм		Площадь сечения, мм <sup>2</sup>		
	нормальной	повышенной	Круг	Квадрат	Шестиграннык
52	1,20	0,74	2123,7	2704	—
55			2375,8	3025	2619,7
58			2642,1	3364	—
60			2827,4	3600	3117,7
65			3318,3	4225	3659,0
70			3848,5	4900	4243,0
75			4417,9	5625	4871,0
80			5526,5	6400	5543,0
85	1,40	1,00	567,5	7225	6257,0
90			6361,7	8100	7014,8
95			7088,2	—	7816,0
100			7854	10 000	8660
105			8659	—	—
110			9503	12 100	—
115			10 387	—	—
120			11 310	14 400	—
125	1,60	—	12 272	—	—
130			13 273	16 900	—
135			14 314	—	—
140			15 394	19 600	—
145			16 513	—	—
150			17 672	22 500	—
155			18 869	—	—
160			20 106	—	—
165			21 382	—	—
170			22 698	—	—
175			24 053	—	—
180			25 447	—	—
185	26 880	—	—		
190	2,00	—	28 353	—	—
200			31 416	—	—

И далее до 400 мм с интервалом 10 мм

Примечание. Для квадратных и шестигранных прутков размером 75 и 80 мм повышенной точности предельные отклонения 1 мм. Для размеров 90, 100 мм и более повышенной точности предельные отклонения не устанавливаются.

## 30. Сортамент изделий из меди

Изделие	Марка меди	Толщина или диаметр, мм	ГОСТ
Прутки Листы и полосы	M1, M1p, M2, M2p, M3, M3p	3...150 0,4...12	1535-91 (в ред. 2002 г.)
Ленты	M1, M1p, M2, M2p, M3, M3p	0,005...2	1173-92
Полосы и ленты из бескислородной меди для электронной техники	MO6	2...55 0,05...2	15471-77 (в ред. 1991 г.)
Ленты для коаксиальных магистральных кабелей	M1	0,16...0,3	16358-79 (в ред. 1996 г.)
Трубы волноводные	M2, M3	24 × 1,2...292 × 146	20900-75 (в ред. 1991 г.)

## 31. Сортамент изделий из бронзы

Изделие	Марка бронзы	Размер, мм		ГОСТ
		минимальный	максимальный	
<i>Оловянные, деформируемые бронзы</i>				
Полосы и ленты из оловянно-фосфористой и оловянно-цинковой бронзы	БРОФ6,5-0,15; БРОЦ4-3	1 × 40 0,1 × 10	10 × 300 2 × 300	1761-92
Прутки из оловянно-фосфористой бронзы	БРОФ6,5-0,15; БРОФ7-0,2	5* <sup>1</sup> 40* <sup>2</sup>	40* <sup>1</sup> 110* <sup>2</sup>	10025-78 (в ред. 1989 г.)
Прутки из оловянно-цинковой бронзы	БРОЦ4-3	5* <sup>1</sup> 42* <sup>2</sup>	40* <sup>2</sup> 120* <sup>2</sup>	6511-60 (в ред. 1991 г.)
Проволока круглая, квадратная	БрОЦ4-3	0,1	12,0	—
<i>Безоловянные бронзы</i>				
Полосы и ленты из бериллиевой бронзы	БрБ2; БрБНТ1,9	0,02 × 10	6 × 300	1789-70 (в ред. 1989 г.)
Полосы и ленты из алюминево-марганцевой бронзы	БрАМц9-2	1,0 × 300	6 × 300	1595-90
Прутки бронзовые	БрАМц9-2; БрАЖМц10-3-1,5; БрАЖН10-4-4; БрКМц3-1; БрКН1-3	5	40	1628-78 (в ред. 1990 г.)
Прутки из бериллиевой бронзы	БрБ2	5	40	15835-70 (в ред. 1992 г.)
Проволока из кремнемарганцевой бронзы	БрКМц3-1	0,1 0,6	3,5 10	5222-72 (в ред. 1987 г.)
Проволока из бериллиевой бронзы	БрБ2	0,06	12,0	15834-77 (в ред. 1996 г.)

\*<sup>1</sup> Тянутые.\*<sup>2</sup> Прессованные.

## ПЛАСТМАССЫ

32. Свойства термореактивных пластмасс с наполнителем

Марка	$\gamma$ , г/см <sup>3</sup>	Теплостой- кость по Маргенсу, °С	Рабочая температура, °С	$\alpha \cdot 10^6$ 1/°С	$\lambda$ , Вт/(м · °С)	$\sigma_p$	$\sigma_{ск}$	$\sigma_n$	Удельное электриче- ское сопро- тивление, Ом · см	Электри- ческая прочность, кВ/мм
02-010-02	1,4	125	—	4,5...5,3	0,21...0,23	35	160	60	10 <sup>11</sup>	10
03-010-0,2	1,4	130	—	4,6...5,3	0,21...0,23	37,5...40	160	70	10 <sup>11</sup>	13
Э1-340-02	1,4	125	-60...+100	—	—	28	150	60	5 · 10 <sup>12</sup>	13
Э2-330-02	1,4	120	-50...+100	4,5...5,3	0,21...0,23	30...53	150	65	5 · 10 <sup>12</sup>	15
Сп3-342-02	1,4	130	-60...+115	4,3...7,0	0,21...0,23	—	160	60	5 · 10 <sup>12</sup>	13
Э3-340-65; Э3-340-61	1,95	150	-60...+115	2,0...5,0	0,21...0,47	23...26	110...115	—	4,8 · 10 <sup>14</sup>	15...21
Вх1-090-34	1,6	125	-40...+110	—	—	—	150...170	55...72	10 <sup>12</sup>	13
Вх4-080-34	1,75	115	-60...+200	—	—	24	120...150	35...45	10 <sup>11</sup>	13
У2-301-07;	1,45	140	-40...+110	3,5...7,0	0,21...0,23	30...35	100...120	80	10 <sup>9</sup>	4
У4-301-07										
У5-301-41;	1,95	200	-40...+130	2,5	0,52	25	80	85	10 <sup>10</sup>	1,7...2,5
У6-301-41										
В-4-70	2,0	140	-60...+150	3,5	0,0075	—	200...220	97	10 <sup>13</sup>	16...33
К-114-35	1,75...1,90	125	-60...+100	2,0...5,0	0,3	50	180...200	90	10 <sup>14</sup>	16...22
К-81-39; К-81-39А;	1,95	—	—	—	—	5	—	50...55	10 <sup>14</sup>	15
К-81-33С										
Ретинакс А	2,4...2,7	—	—	—	0,37	—	55	—	—	—
Ретинакс Б	2,4...2,7	—	—	—	0,46	—	57	—	—	—
К-236-58	2,4...2,7	—	—	0,8...2,5	0,46	31,5	70...85	55	—	—
В1-301-07	1,45	160	—	3,0...3,5	0,21...0,23	30...35	100...120	80	10 <sup>9</sup>	5
Гетинакс электро- технический листовый	1,35...1,45	150	—	—	—	98	—	122,5	10 <sup>10</sup> ...10 <sup>12</sup>	12...30

Окончание табл. 32

Марка	$\gamma$ , г/см <sup>3</sup>	Теплостойкость по Мартенсу, °С	Рабочая температура, °С	$\alpha \cdot 10^6$ 1/°С	$\lambda$ , Вт/(м · °С)	$\sigma_p$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_k$	Удельное электрическое сопротивление, Ом · см	Электрическая прочность, кВ/мм
Гетинакс фольгированный	1,44...1,98	—	—	—	—	80	—	—	10 <sup>12</sup>	—
Текстолит электро-технический ЛТ	1,2...1,35	110	-60...+65	—	—	110	140	150	10 <sup>13</sup>	20
Текстолит: конструкционный графитированный	1,3...1,4	140	—	3,3...4,1	0,23...0,34	120	155	150	10 <sup>10</sup> ...10 <sup>12</sup>	2...5
Аминопласты В2, В3, В4, В5	1,3...1,4	120	—	—	—	90	100	150	—	—
Аминопласт Е1	1,6...1,9	130...150	-60...+60	3,0	0,29	—	—	50...60	10 <sup>12</sup>	12...14
КФ9	1,7...2,0	180	—	—	—	—	—	70...120	10 <sup>12</sup>	7
КФ10	1,5...1,65	200...250	-60...+250	—	—	—	—	90	10 <sup>15</sup>	13
АГ-4С	1,8...2,0	200...220	-60...+250	—	—	—	—	25	10 <sup>15</sup>	15
АГ-4НС	1,7...1,9	280...320	—	0,5...1,2	0,31...0,6	550...670	200	450...600	10 <sup>12</sup> ...3 · 10 <sup>14</sup>	13...15
АГ-4В10	1,7...1,9	280...320	—	0,5...1,2	0,31...0,6	500	200	450...600	10 <sup>12</sup> ...3 · 10 <sup>14</sup>	13...15
Фольгированный стеклотекстолит ФДМТ	1,7...1,3	280	-60...+130	1,0...1,5	—	—	130	120	10 <sup>12</sup>	13
Фенолит РСТ (К-214-52)	1,6...1,85	—	—	—	—	—	200	—	10 <sup>13</sup>	—
ВЭП-1	3,0...4,5	—	-60...+110	—	—	—	—	—	—	10
	1,65	140	—	—	—	—	140...170	60	10 <sup>14</sup>	11
	1,7...1,8	350	—	0,2	0,45	—	105	140	10 <sup>14</sup>	—



## 34. Свойства пластмасс с газоздушным наполнителем

Марка	$\gamma$ , г/см <sup>3</sup>	Рабочая температура, °С	$\lambda$ , Вт (м · °С)	$\sigma_{ож}$	$\sigma_{и}$	Удельное электрическое сопротивление, Ом·см
				Н/мм <sup>2</sup>		
ПВХ-1	0,07...0,3	-60...+60	0,038...0,044	0,4...0,7	1,5...4,0	-
ПВХ-2	0,13...0,22	-60...+60	0,041...0,052	0,8...1,5	3,0...6,5	-
ВВХ-Э	0,1...0,27	-10...+40	0,043...0,066	-	-	-
Винипор С	0,08...0,12	-10...+60	-	-	-	-
Вспенивающийся полистирол	0,02...0,03	-60...+70	0,035...0,044	0,13...0,25	0,1...0,3	-
ПЭ-5	0,1...0,3	-60...+120	0,058...0,075	0,7...2,8	1,6...3,0	-
ПЭ-6	0,02...0,05	-60...+100	0,021...0,041	0,03...0,07	0,67...0,1	-
ППУ-202-1	0,2...0,25	-60...+100	-	-	-	10 <sup>12</sup>
ППУ-306	0,1...0,15	-60...+130	0,035...0,052	1,0...1,4	-	-
Изолан-1	0,035...0,01	-60...+200	0,041...0,07	0,15...10	-	-
Изолан-2	0,03...0,05	-50...+180	0,042	0,25	-	-

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Марочник сталей и сплавов** / А.С. Зубченко, М.М. Колосков, Ю.В. Каширский и др.; Под общей ред. А.С. Зубченко. М.: Машиностроение, 2003. 784 с.

2. **Машиностроение**: Энциклопедия: Т. II-3: Цветные металлы и сплавы. Композиционные металлические материалы / И.Н. Фридляндер, О.Г. Сенаторова, О.Е. Осинцев и др.; Под общей ред. И.Н. Фридляндера. М.: Машиностроение, 2001. 880 с.

## Раздел II

# ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ И СБОРКИ

## Глава 1

### ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ И ЗАГОТОВОК

#### ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ

В комплексе требований, предъявляемых к технико-экономическим показателям промышленных изделий, важное место занимают вопросы технологичности конструкции. *Технологичность конструкции изделия* определена ГОСТ 14.205-83 (в ред. 1989 г.) как совокупность свойств конструкции изделия, определяющих ее приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, техническом обслуживании и ремонте для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ.

*Обеспечение технологичности изделий* – важная для предприятий функция подготовки производства, включающая комплекс взаимосвязанных мероприятий по управлению технологичностью и совершенствованию условий выполнения работ. Технологичность конст-

рукции изделия является динамически изменяющимся качеством, так как связана с большим количеством внешних по отношению к изделию переменных факторов, например, с объемом выпуска, состоянием технологической базы производящих и эксплуатирующих предприятий, организацией производства и т.п.

Технологичность конструкции специфического изделия рассматривают относительно всего изделия, учитывая технологичность составных частей, сборочных единиц, требования технических условий по проведению испытаний, монтажу вне предприятия-изготовителя, техническому обслуживанию и ремонту.

Виды технологичности по областям проявления, факторы, определяющие требования к технологичности, и виды оценок представлены на рис. 1. *Производственная технологичность*



Рис. 1. Виды технологичности, главные факторы, определяющие требования к технологичности конструкции, и виды оценки технологичности

*конструкции изделия* проявляется в сокращении затрат, средств и времени при технологической подготовке производства, изготовлении, а также монтаже изделия вне предприятия-изготовителя; *эксплуатационная технологичность конструкции изделия* — в сокращении затрат, времени и средств при подготовке изделия к использованию по назначению, при его техническом обслуживании, текущем ремонте и утилизации; *ремонтная технологичность изделия* — в сокращении затрат при всех видах ремонта, кроме текущего.

Главными факторами, определяющими требования к технологичности конструкции, являются: вид изделия, объем выпуска и тип производства. *Вид изделия* определяет главные конструктивные и технологические признаки, обуславливающие основные требования к технологичности конструкции; *объем выпуска и тип производства* определяют степень технологического оснащения, механизации и автоматизации технологических процессов и специализации производства, влияющих на обеспечение технологичности изделий.

Оценка технологичности конструкции изделия может быть двух видов: качественной и количественной.

*Качественная оценка* характеризует технологичность конструкции обобщенно на основании опыта исполнителя-разработчика. Например, такая оценка может быть сделана в отношении принципиальной возможности формообразования поверхности, в отношении возможности применения нормализованного обрабатывающего, сборочного или контрольного инструмента, возможности достижения заданной твердости поверхности термической обработкой и т.п. Качественная сравнительная оценка вариантов конструкции допустима на тех стадиях проектирования, когда осуществляется выбор лучшего конструктивного решения, но не требуется определения степени различия технологичности сравниваемых вариантов.

*Количественная оценка* технологичности конструкции изделия выражается показателем или системой показателей, численное значение которых характеризует степень удовлетворения требований к технологичности конструкции.

Качественная оценка при сравнении вариантов конструкции в процессе проектирования изделия предшествует количественной и определяет целесообразность количественной оценки и сопутствующих ей трудозатрат на выбор системы показателей и на определение их численных значений. Количественная оценка тех-

нологичности создает предпосылки для планового улучшения технологичности изделий.

Показатели технологичности проектируемых и выпускаемых изделий определяют в следующих случаях:

— для сравнительной оценки вариантов конструкции в процессе проектирования изделия;

— для определения уровня технологичности конструкции изделия;

— для накопления статистических данных по родственным группам изделий в целях определения базовых (исходных) показателей и их последующего использования в процессе разработки новых изделий;

— для построения математических моделей с целью прогнозирования технического развития конструкций изделий.

Сравнение вариантов конструкции и отработку на технологичность осуществляют по базовым показателям. *Базовый показатель* технологичности конструкции изделия — это показатель, принятый за исходный при оценке технологичности. Технологичной считается конструкция, значения показателей технологичности которой соответствуют базовым показателям технологичности или превосходят их. Под *отработкой конструкции на технологичность* понимают комплекс мероприятий по обеспечению необходимого уровня технологичности конструкции изделия по установленным показателям.

Номенклатуру показателей технологичности, методику определения, а также их базовые значения указывают в техническом задании на разработку изделия, а по отдельным видам изделий, перечень которых устанавливается отраслями, — в отраслевых стандартах. Номенклатура показателей зависит от стадии разработки. Количество показателей должно быть минимальным, но достаточным для оценки технологичности.

*Уровень технологичности конструкции изделия* представляет собой показатель технологичности, выражаемый отношением значения показателя технологичности данного изделия к значению соответствующего базового показателя технологичности.

## ОБЩИЕ ПРАВИЛА ОТРАБОТКИ КОНСТРУКЦИИ НА ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ

В соответствии с ГОСТ 14.201-83 (в ред. 1989 г.) отработка конструкции изделия на технологичность является неотъемлемой составной частью комплекса работ по обеспечению технологичности. Отработка конструкции



изделия на технологичность производится совместно разработчиками конструкторской и техникологической документации, предприятиями-изготовителями изделия и представителями заказчика (специалистами по техническому обслуживанию и ремонту техники). Ответственными исполнителями обработки конструкции на технологичность являются разработчики конструкторской документации.

Показатели технологичности при совместной работе конструкторов и технологов выполняют роль единого критерия в оценке техникологичности. На рис. 2 приведена классификация показателей техникологичности конструкции изделий. При использовании относительных частных показателей техникологичности расчет их количественных значений производят по формулам, удовлетворяющим требованиям пределов:  $0 \leq K \leq 1$ , причем более технологичной конструкции соответствует большее значение коэффициента  $K$ . Рекомендуемый перечень показателей техникологичности конструкции изделий в зависимости от вида изделия и стадии разработки конструкторской документации приведен в Приложении 1 ГОСТ 14.201-83 (в ред. 1989 г.).

Обработку конструкции на технологичность начинают с ее техникологического анализа. При анализе учитывают большое число конструктивных признаков изделия (табл. 1). Их сопоставляют с факторами будущего техникологического процесса с целью выявить те эле-

менты конструкции, которые оказывают наиболее сильное влияние на показатели эффективности изготовления изделия (в данном случае – детали), в особенности на трудоемкость и себестоимость процесса. В соответствии с этими признаками и выбирают показатели техникологичности, используемые для сравнительной оценки вариантов конструкции. Последовательность анализа конструкции при выборе показателей техникологичности показана на рис. 3.

Высокий уровень технологичности детали формируется, в частности, за счет того, что конструктор предусматривает возможность использования при ее изготовлении типовых техникологических решений. Например, стандартизация элементов конструкции – канавок для выхода инструмента, радиусов закругления, уклонов и тому подобных элементов – приводит к снижению затрат на подготовку соответствующего техникологического инструмента и другой оснастки. Техникологически целесообразные форма детали и порядок простановки размеров упрощают процесс подготовки программ и последующую обработку заготовок на станках с ЧПУ. Хорошие техникологические свойства материала детали определяют возможность применения высокопроизводительных способов обработки, в частности типовых заготовительных операций: литья, штамповки и др.

Общие требования к технологичности конструкции деталей и сфера проявления эффекта при их выполнении приведены в табл. 2.



Рис. 2. Классификация показателей технологичности конструкций изделий

1. Технологический анализ чертежа детали

Конструктивный признак детали, объем выпуска	Фактор технологического процесса												
	Вид заготовительной операции	Виды операций обработки резанием	Последовательность операций	Концентрация и дифференциация операций	Термическая или термомеханическая обработка	Вид окончательной обработки	Метод обеспечения точности	Выбор технологических баз	Режимы обработки резанием	Применяемый инструмент	Оснастка	Оборудование	Квалификация исполнителей
Материал	+				+	+		+	+	+	+	+	+
Общая конфигурация			+	+									
Порядок протановки размеров			+	+									
Точность:			+	+									
размеров поверхностей			+	+									
формы поверхностей			+	+									
относительного расположения поверхностей			+	+									
Шероховатость поверхностей			+	+									
Структура поверхностного слоя			+	+									
Твердость поверхности			+	+									
Герметичность стоек			+	+									
Магнитные и электрические свойства			+	+									
Покрытие			+	+									
Объем выпуска			+	+									

Пр и м е ч а н и е. Знак "+" означает сильное влияние конструктивного признака на фактор технологического процесса, знак "-" — слабое влияние конструктивного признака на фактор технологического процесса или отсутствие влияния.

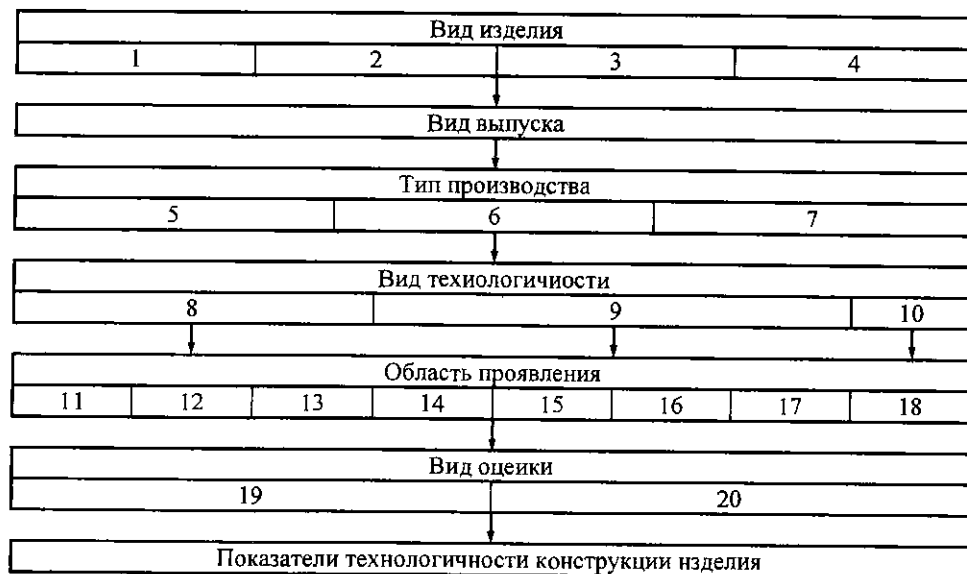


Рис. 3. Последовательность анализа конструкции изделия при выборе показателей техничности. Нумерация соответствует приведенной на рис. 1

## 2. Общие требования к техничности конструкции детали и сфера проявления эффекта при их выполнении

Содержание требования	Сфера проявления эффекта				
	КПП	ТПП	Процессы изготовления	Техническое обслуживание	Ремонт изделия
Конструкция детали должна состоять из стандартизованных и унифицированных элементов или быть стандартизованной в целом	+	+	+	+	+
Физико-химические и механические свойства материала детали, ее форма и размеры должны соответствовать требованиям технологии изготовления (включая процессы упрочнения, коррозионной защиты и пр.), хранения и транспортирования	-	+	+	+	+
Требования точности размеров, формы и относительного расположения поверхностей детали, а также шероховатость поверхностей должны быть экономически и конструктивно обоснованы	-	+	+	-	+
Параметры баз (точность, шероховатость) детали должны обеспечивать достаточную точность ее установки при обработке и контроле	-	+	+	-	+
Конструкция детали должна обеспечивать возможность применения типовых технологических процессов ее изготовления	-	+	+	-	-

Примечания: 1. Знак "+" означает, что эффект проявляется, знак "-" – отсутствие эффекта.

2. КПП – конструкторская подготовка производства, ТПП – технологическая подготовка производства.

Основную работу по отработке конструкции детали на технологичность проводят, начиная со стадии разработки эскизного проекта, когда в конструкцию закладывают признаки технологичности детали как объекта изготовления — с одной стороны, так и составной части сборочной единицы — с другой. На стадии разработки технического проекта выполняют работы по обеспечению технологичности основных сложных деталей. На стадии разработки рабочей документации проводят: технологический контроль конструкторской документации на детали (за исключением документации на стандартизованные крепежные изделия и покупные детали); оценку технологичности конструкций деталей на соответствие основным требованиям, предъявляемым к технологичности конструкций деталей и их конструктивных элементов, с учетом условий сборки изделий.

Работы по обеспечению технологичности конструкций деталей выполняют в такой последовательности (общий случай): выявляют конструктивные элементы, влияющие на качество выполнения изделия рабочих функций в условиях эксплуатации, отработывают конструкцию детали на технологичность по главным конструктивным элементам, а затем — на технологичность по остальным конструктивным элементам.

Количественную оценку технологичности проектируемой детали проводят по усмотрению разработчика в следующих случаях: при относительно высокой трудоемкости (себестоимости) детали по сравнению с затратами в целом на сборочную единицу; при контроле обоснованности или достаточности качественной оценки; для накопления статистических данных о технологичности типовых представителей конструкций деталей различных классов и последующего использования этих данных при отработке на технологичность конструкций однотипных деталей.

Определение уровня технологичности конструкции детали, для которой в техническом задании специально установлены базовые показатели технологичности, является обязательным. Состав показателей технологичности конструкции детали, используемых для отработки конструкции и определения уровня технологичности, и состав базовых показателей должны полностью совпадать.

Технологический контроль конструкторской документации проводят в соответствии с ГОСТ 14.206-73 (в ред. 1989 г.). Технологический контроль должен быть направлен на:

— соблюдение в разрабатываемых изделиях установленных технологических норм и

требований с учетом современного уровня развития данной отрасли техники и способов изготовления, эксплуатации и ремонта изделия;

— достижение в разрабатываемых изделиях заданных показателей технологичности;

— выявление наиболее рациональных способов изготовления изделий с учетом заданного объема выпуска, требования которого должны быть отражены в конструкторской документации.

Технологическому контролю на предмет технологичности подвергают также документацию на полуфабрикаты (заготовки) в части проверки совместимости их конструктивных элементов с технологическими возможностями выбранного способа передела.

## ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ОТЛИВОК

Отливку считают технологичной, если ее конструкция соответствует общим принципам обеспечения качества заготовок при литье и сложившимся конкретным производственным условиям. Высокое качество отливки обеспечивают: использование литейного сплава с высокой жидкотекучестью и оптимальная конфигурация отливки, благодаря чему возможно применение простой литейной (модельной) формы, предусматривающей одновременное или направленное затвердевание сплава и свободное извлечение отливки (модели) из формы. В конструкции отливки необходимо также учитывать реальные производственные возможности: наличие определенного оборудования для подготовки сплава и формирования отливки при заданном объеме выпуска продукции.

*Толщина стенок отливок.* При литье в песчаные формы толщину стенок  $s$  отливок из серого чугуна определяют по номограмме (рис. 4, а) и отливок из углеродистой стали — по номограмме (рис. 4, б). Приведенный габаритный размер отливки  $N = (2l + b + h) / 3$ , где  $l$ ,  $b$  и  $h$  — соответственно длина, ширина и высота детали. Номограммы построены для отливок с  $N > 0,5$  м. При меньших значениях  $N$ , а также в случае выполнения отливок с особо тонкими сечениями (типа ребристых цилиндров, радиаторов и др.) допускается уменьшать толщину стенок отливок из чугуна до 2 мм, из стали до 5 мм. Стенки отливок из легированных сталей с пониженной жидкотекучестью следует назначать на 20...30 % более толщины стенок однотипных деталей из углеродистых сталей. Толщина внутренних стенок отливок должна быть мень-

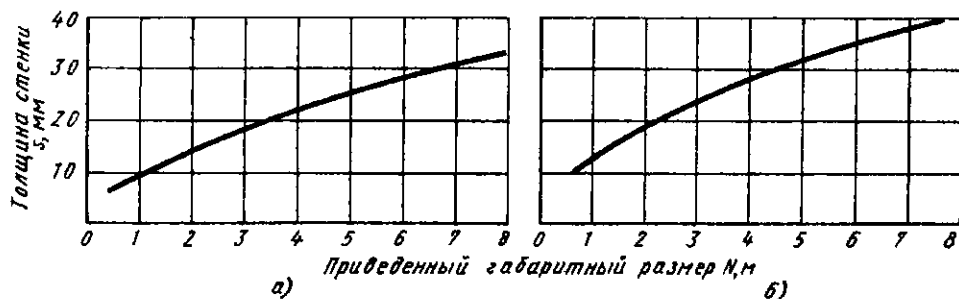


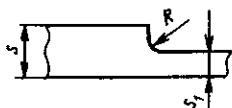
Рис. 4. Номограммы для определения толщин стенок отливок:  
а – из серого чугуна; б – из углеродистой стали

### 3. Толщина стенок отливок из цветных сплавов

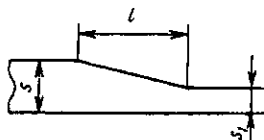
Материал	Размеры отливок, мм	Наименьшая толщина стенок, мм
Оловянные бронзы	Протяженность стенки: до 50	3
	св. 50 до 100	5
	» 100 » 250	6
	» 250 » 600	8
Специальные бронзы и латуни	Отливки: мелкие	6
	средние	8
Алюминиевые сплавы	Мелкие отливки с протяженностью стенки: до 200	3...5
	св. 200 до 800	5...8
Магниевого сплавы	Отливки: мелкие	4
	средние с протяженностью стенки до 400	6

### 4. Форма и размеры переходов отливки от толстого сечения к тонкому

Форма А



Форма Б



Переход в виде радиуса закругления

Переход в виде клина

Форма перехода	Размеры в месте перехода	Материал отливки			
		Чугун, алюминиевые и магниевые сплавы		Сталь и медные сплавы	
		$s/s_1 \leq 2$	$2 < s/s_1 \leq 4$	$s/s_1 \leq 2$	$2 < s/s_1 \leq 4$
А	$R$	$0,3h$	$0,3h^*$	$0,4h$	$0,4h^*$
Б	$l$	$4h$		$5h$	

\* Только для деталей, не подвергающихся ударным нагрузкам.

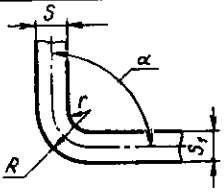
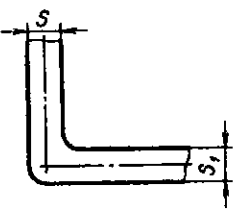
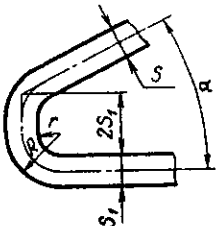
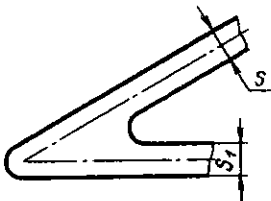
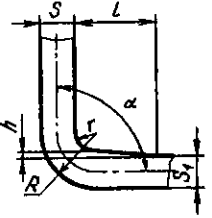
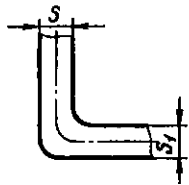
Примечание.  $h = s - s_1$ .

ше толщины наружных стенок деталей: из чугуна – на 10...20 %, из стали – на 20...30 %.  
 Наименьшая допустимая толщина стенок отливок из цветных сплавов при литье в песчаные формы приведена в табл. 3.

**Переходы и сопряжения.** Для получения качественных отливок отношение толщин стенок при переходе от одного сечения к другому должно быть не более чем 4:1. Форма переходов приведена в табл. 4.

Рекомендуемые для применения в конструкциях форма и размеры угловых и тавровых сопряжений литых деталей приведены в табл. 5 и 6. Радиусы сопряжений назначают в соответствии с номограммами на рис. 5, а и б. Радиусы закруглений наружных углов отливок назначают в зависимости от размеров детали и углов между сопрягаемыми поверхностями (табл. 7).

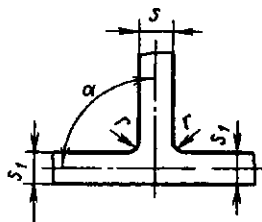
**5. Форма и размеры угловых сопряжений литых деталей**

		Форма сопряжения			
		рекомендуемая	нерекомендуемая		
 <p><math>s = s_1; R = r + s_1; \alpha = 75...105^\circ</math></p>					
 <p><math>s = s_1; R = r + s_1; \alpha &lt; 75^\circ</math></p>					
 <p><math>s &gt; 1,25s_1; R = r + s_1 + h; \alpha = 75...105^\circ</math></p>					
Размер углового сопряжения	Материал отливки	$s : s_1$			
		1...1,25	Св. 1,25 до 1,8	Св. 1,8 до 2,5	Св. 2,5
$h$	–	0	$s - s_1$	$0,8(s - s_1)$	$0,7(s - s_1)$
$l$	Сталь и медные сплавы	–	5h и более		
	Чугун, алюминиевые и магниевые сплавы	–	4h и более		
$r$	–	Определяют по номограммам рис. 5, а и б			

## 6. Форма и размеры тавровых сопряжений литых деталей

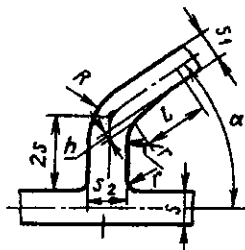
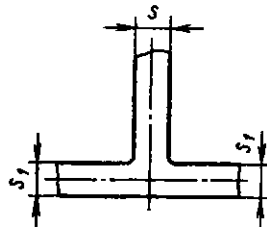
## Форма сопряжения

рекомендуемая

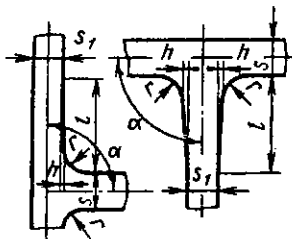
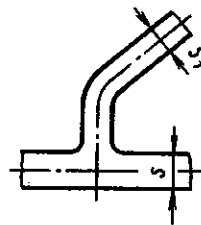


$$s \approx 1,25s_1; \alpha = 75 \dots 100^\circ$$

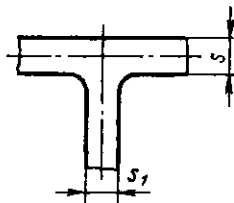
нерекомендуемая



$$s > 1,25s_1; R = r + s_2; s_2 = s_1 + h; \alpha < 75^\circ$$



$$s > 1,25s_1; \alpha = 75 \dots 105^\circ$$



Размеры таврового сопряжения

 $s : s_1$ 

От 1,0 до 1,25

Св. 1,25 до 1,8

Св. 1,8 до 2,5

Св. 2,5

 $h$ 

0

$$\frac{s - s_1}{2}$$

$$\frac{0,8(s - s_1)}{2}$$

$$\frac{0,7(s - s_1)}{2}$$

Материал отливки:  
сталь и медные сплавы

-

10h и более

чугун, алюминиевые и  
магнелиевые сплавы

-

8h и болес

 $r$ 

Определяют по номограммам на рис. 5, а и б

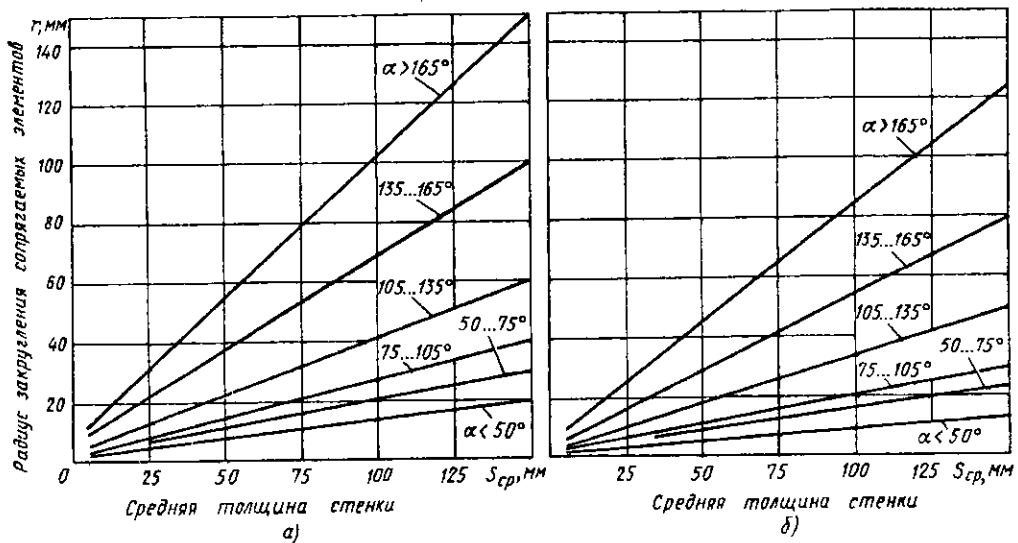


Рис. 5. Номограммы для определения радиуса закругления при сопряжении элементов литой детали: а – из стали и медных сплавов; б – из чугуна, алюминиевых и магниевых сплавов.

Средняя толщина стенки  $s_{cp} = 0,5(s + s_1)$

7. Радиусы закруглений (мм) наружных углов отливки

Эскиз отливки	$l_1; l_2; l_3, \text{ мм}$	Значения угла $\alpha, ^\circ$					
		До 50	Св. 50 до 70	Св. 70 до 105	Св. 105 до 135	Св. 135 до 165	Св. 165
	До 25	2	2	2	4	6	8
	Св. 25 до 50	2	4	4	6	10	16
	» 50 » 150	4	4	6	8	16	25
	» 150 » 250	4	6	8	12	20	32
	» 250 » 400	6	8	10	16	25	40
	» 400 » 600	6	8	12	20	32	50
	» 600 » 1000	8	12	16	25	40	60
	» 1000 » 1600	10	16	20	32	50	80
	» 1600 » 2500	12	20	25	40	60	100
» 2500	16	25	32	50	80	120	

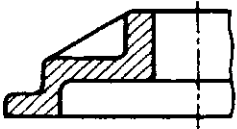
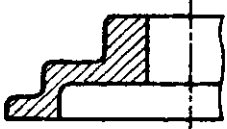
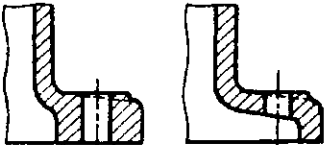
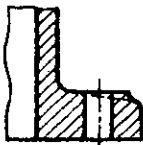
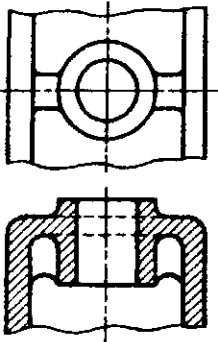
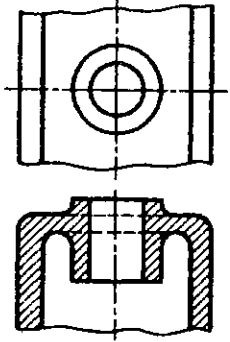


Примечание.  $l_1, l_2, l_3$  – наименьший габаритный размер в сечении, перпендикулярном к образующей цилиндрической поверхности закругления;  $\alpha$  – угол между сопрягаемыми поверхностями.

Технологичное исполнение отдельных элементов отливок. В табл. 8 приведены примеры рекомендуемого и нерекондуемого исполнения некоторых конструктивных элементов отливок. Повышению технологичности способствуют выравнивание толщины стенки

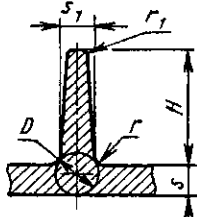
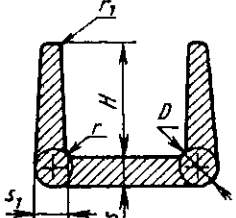
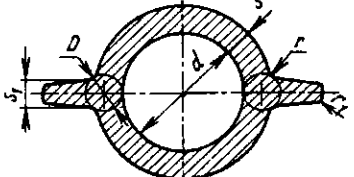
отливки, устранение местных скоплений металла, исключение из конструкции тонкостенных ребер, глубоких впадин и щелей с большим отношением глубины (высоты) к толщине. Ребра жесткости рекомендуется выполнять в соответствии с табл. 9.



## 8. Элементы конструкции отливок

Конфигурация отливки		Преимущество технологичной конструкции
рекомендуемая	нерекомендуемая	
		Устраняется опасность образования усадочной раковины благодаря большей равномерности
		Устраняется опасность образования усадочной раковины или трещины благодаря большей равномерности, экономится металл и снижается масса конструкции
		Улучшаются условия формирования и получения отливки при наличии узких продольных и кольцевых углублений
		Используется модельная оснастка без съемных частей

9. Технологичное исполнение ребер жесткости в отливках

Конфигурация отливки	$H$	$s_1$	$D$	$r$	$r_1$
<p>Стенки с ребрами посередине</p> 	5s и менее	0,8s	1,5s	0,5s	0,25s
<p>Стенки с ребрами по краям</p> 	5s и менее	s	1,25s	0,3s	0,25s
<p>Кольцевое сечение с ребрами</p> 	—	0,8s	1,25s	0,5s	0,25s

**ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКОЙ, ГИБКОЙ СОРТОВОГО МЕТАЛЛА И ХОЛОДНЫМ ВЫДАВЛИВАНИЕМ**

При конструировании штампованных деталей следует учитывать особенности протекания процесса пластической деформации при взаимодействии инструмента и заготовки. Высокое качество деталей при штамповке может быть достигнуто в первую очередь при усло-

вии использования материала с оптимальными механическими свойствами. Разделительные операции (вырубка, пробивка, отрезка и др.) требуют материала относительно малопластичного с высоким отношением предела текучести к пределу прочности. При выполнении формоизменяющих операций (вытяжки, гибки и др.) предпочтительно использовать материал с высокой пластичностью при малом отношении предела текучести к пределу прочности. Рекомендуемые механические свойства материалов для листовой штамповки приведены в табл. 10.

10. Рекомендуемые механические свойства материалов для листовой штамповки

Виды операции листовой штамповки	Относительное удлинение $\delta$ , %	$\sigma_T / \sigma_B$
Разделительная	До 5	Св. 0,8
Формоизменяющая	18 и более	0,65 и менее

Конфигурация элементов деталей, получаемых листовой штамповкой, должна соответствовать требованиям предусматриваемых раздельных и формоизменяющих операций.

**Вырубка и пробивка.** Освоившие технологические требования к деталям при вырубке и пробивке приведены в табл. 11.

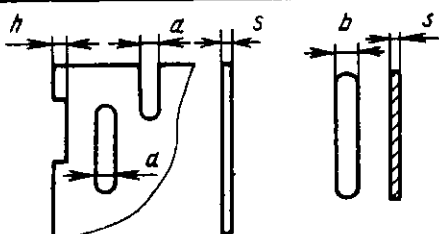
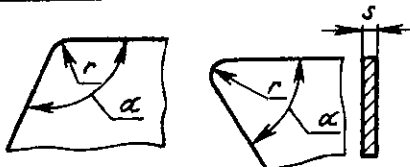
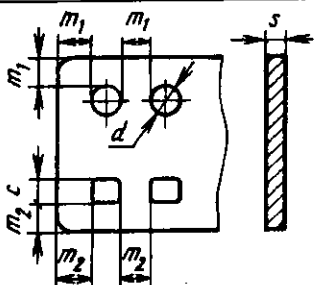
**Вытяжка.** При конструировании деталей, получаемых вытяжкой (рис. 6), размеры элементов определяют из соотношений:  $r_n \geq 1,5s$ ;  $r_y \geq 3s$ ;  $r_m \geq 3s$ ;  $h_1 \leq (0,3 \dots 0,8)B$ ;  $h_2 \leq 0,6d$ ;  $h_3 \leq 0,5d$ ;  $d_\phi \leq 1,5d$ ;  $\alpha < 3^\circ$ .

Радиусы сопряжений могут быть уменьшены калибровкой до значений:  $r_n \approx 0,2s$ ;  $r_y = r_m \approx 0,3s$ . Детали с высотами  $h_1$ ,  $h_2$  и  $h_3$  могут быть получены вытяжкой за одну опера-

цию. Для этих деталей коэффициент вытяжки  $m = d/d_{\text{заг}}$  и зависит от материала детали:

Стали 08 и 10, латунь Л63 .....	0,50...0,53
Сплавы:	
АМц и Д16М .....	0,52...0,56
Д16Г .....	0,68...0,70
В95 .....	0,70...0,72
Сталь:	
20, 12Х13 и 20Х13 .....	0,56...0,58
12Х18Н9 .....	0,50...0,52
30ХГСА .....	0,62...0,70
Цинк .....	0,65...0,70
Титановые сплавы:	
ВТ1-0 без подогрева .....	0,57...0,61
ВТ1-0 с подогревом .....	0,40...0,44
ВТ5 без подогрева .....	0,63...0,65

**11. Рекомендуемая конфигурация конструктивных элементов деталей при операциях вырубки и пробивки**

Эскиз конструктивного элемента	Значение параметра	Примечание
	$a \geq (1 \dots 1,5)s$ ; $h \geq 1,2s$ ; $b \geq 1,5s$	—
	При $\alpha > 90^\circ$ $r \geq (0,25 \dots 0,35)s \geq 0,3$ мм При $\alpha \leq 90^\circ$ $r \geq (0,5 \dots 0,6)s \geq 0,3$ мм	При штамповке в составных матрицах острые углы можно не скруглять
	$m_1 \geq s$ ; $m_2 \geq 1,25s$	При раздельной пробивке
	$m_1 \geq (2 \dots 3)s$ ; $m_2 \geq (2 \dots 3)s$ ; $d \geq s$ ; $c \geq 0,9s$	Для малопластичных материалов (гетинакса и текстолита) $d \geq 0,4s$

**Примечание.** В таблице приведены значения параметров для деталей из мягкой стали; для деталей из высокоуглеродистых и легированных сталей табличные значения параметров следует увеличить в 1,4 раза, для латуни и алюминиевых сплавов — уменьшить в 0,75 раза.

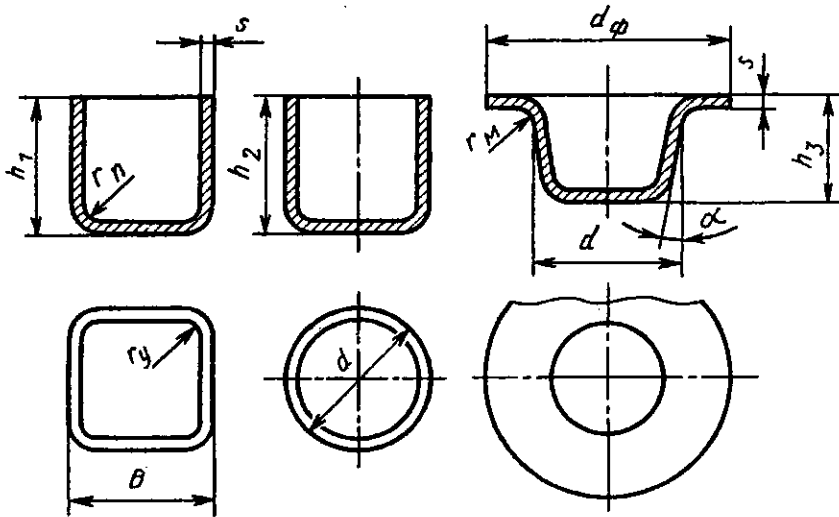


Рис. 6. Рекомендуемая конфигурация конструктивных элементов деталей при вытяжке

Большие значения коэффициента вытяжки принимают при  $(s/d_{\text{заг}}) < 0,01$ , меньшие — при  $(s/d_{\text{заг}}) > 0,01$ .

ГОСТ 17040–80 (в ред. 1989 г.) устанавливает конструкцию и размеры типовых элементов и деталей, штампуемых из листа цветных сплавов толщиной не более 4 мм: сгиба, отбортовки, выдавки и борта. Технологичность этих элементов проявляется в возможности получения заданного качества исполнения при использовании нормализованного инструмента.

*Сгиб* — участок профильного сечения, имеющий кривизну, большую, чем кривизна прилегающих к нему участков (рис. 7). Минимально допустимый радиус сгиба  $R$  при свободной гибке, получаемый за одну операцию штамповки, подсчитывают по формуле

$R = iCs$ ;  $i$  — коэффициент сгиба, зависящий от марки и состояния поставки материала (табл. 12 – 15);  $C$  — поправочный коэффициент, зависящий от угла сгиба; определяется по табл. 16;  $s$  — толщина материала, мм.

Радиус сгиба стального листа определяют по табл. 17.

*Отбортовка* — отверстие с вогнутыми бортами (рис. 8).

*Выдавка* — конструктивный элемент детали в виде углубления, образованного за счет растяжения материала в зоне углубления. На рис. 9 представлены разновидности выдавки: глухая отбортовка и рифты типов 1 – 3, рекомендуемые для деталей из алюминиевых, магниевых и титановых сплавов.

*Борт* — конструктивный элемент штампованной детали, образующий край незамкнутой детали или периметр неглубокой полой детали (рис. 10).

*Гибка сортового металла.* Минимальные радиусы гибки сортового металла (прутков и профилей) некоторых марок сталей и сплавов приведены в табл. 18.

*Выдавливание.* Этот способ применяют для получения заготовок из металлов с высокими и средними пластическими свойствами ( $\delta \geq 7\%$ ). Конфигурация поверхностей заготовки должна отвечать требованию свободного пластического течения металла (табл. 19 и 20).

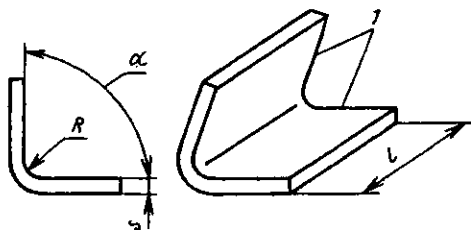


Рис. 7. Сгиб штампованной детали:  
1 — кромка в зоне сгиба материала

12. Коэффициенты сгиба  $i$  для алюминия и алюминиевых сплавов

Марка материала (по ГОСТ 4784-97)	Состояние материала	Состояние кромок	
		незачищенные	зачищенные
А0, А7 (по ГОСТ 11069-2001 (в ред. 2002 г.))	Отожженный	–	0,5
	Нагартованный	–	1,0
АД1	Отожженный	0,5	0,5
	Нагартованный	–	1,0
АМц	Отожженный	0,5	0,5
	Полунагартованный	–	1,5
	Нагартованный	–	4,0
АМг2	Отожженный	3,0	1,0
	Нагартованный	–	2,0
АМг3	Отожженный	3,0	1,0
	Полунагартованный	–	2,0
АМг5, АМг6	Отожженный	–	2,0
АК4-1	Холодиокатанный и отожженный при температуре 290...310 °С	3,0	1,0
Д1	Отожженный	–	1,0
	Естественно состаренный	–	2,5
Д16	Отожженный	3,0	1,0
	Свежезакаленный	4,0	1,5
	Естественно состаренный	5,0	2,5
В95	Отожженный	4,0	1,5
	Свежезакаленный	–	2,0

Примечание. Параметр шероховатости поверхности зачищенных кромок для АМг5 и АМг6 –  $Rz \leq 40$  мкм; остальных –  $Rz \leq 20$  мкм, при условии отсутствия смягчающей термообработки после раскроя на ножницах (в штампе).

13. Коэффициенты сгиба  $i$  для титана и титановых сплавов

Марка материала (по ГОСТ 19807-91)	Условия деформирования					
	Без нагрева			С нагревом		
	Толщина листа $s$ , мм					
	До 1,0	Св. 1,0 до 3,0	Св. 3,0 до 4,0	До 1,0	Св. 1,0 до 3,0	Св. 3,0 до 4,0
BT1-00; BT1-0	1,5	2,0	3,0	–	–	–
OT4-0	2,0	2,5	4,0	1,5	1,5	2,0
OT4-1	2,5	3,0			2,0	2,5
OT4	3,0	3,5	4,5	2,0	2,5	
BT6c	4,0	5,0	6,0	3,0	3,5	3,5
BT14				2,0	3,0	
BT5-1				3,0	3,5	4,0
BT20	5,0	7,0	9,0			

Примечания: 1. Параметр шероховатости поверхности зачищенных кромок  $Rz \leq 40$  мкм.

2. Состояние материала – отожженный.

14. Коэффициенты сгиба  $i$  для магниевых сплавов

Марка сплава (по ГОСТ 14957-76 (в ред. 1983 г.))	Состояние материала	Условия деформирования	
		Без нагрева	С нагревом
МА1	Отожженный	7,0	2,5
МА8		6,0	2,0
	Полунагартованный	13,0	3,5
МА2-1	Отожженный	7,0	3,0
МА15		6,0	2,0
МА18		4,0	2,0
МА20		3,0	1,5

Примечание. Состояние кромок заготовок, подвергаемых гибке, – зачищенные, параметр шероховатости поверхности  $Rz \leq 40$  мкм.

15. Коэффициенты сгиба  $i$  для меди и медных сплавов

Марка материала	Состояние материала	Коэффициент сгиба
М1; М2; М3 (по ГОСТ 859-2001 (в ред. 2002 г.))	Мягкий	0,3
	Твердый	2,0
Л90 (по ГОСТ 15527-70 (в ред. 1999 г.))	Мягкий	0,2
Л63; Л68 (по ГОСТ 15527-70 (в ред. 1999 г.))	Мягкий	0,3
	Полутвердый, твердый	0,8
ЛС59-1 (по ГОСТ 15527-70 (в ред. 1999 г.))	Мягкий	1,0
	Твердый	2,0
БрКМц3-1 (по ГОСТ 18175-78 (в ред. 1988 г.))	Мягкий	0,8
	Твердый	1,5
БрБ2 (по ГОСТ 18175-78 (в ред. 1988 г.))	Мягкий	1,0
	Твердый	2,4

Примечание. Состояние кромок заготовок, подвергаемых гибке, – зачищенные, параметр шероховатости поверхности  $Rz \leq 40$  мкм.

16. Поправочные коэффициенты  $C$  при различных углах сгиба

Материал	Угол сгиба, $\alpha$ , °						
	30	45	60	90	105	120	150
Алюминиевые и титановые сплавы	1,15	1,10	1,05	1,00	0,95	0,90	–
Магниевые сплавы	1,30	1,20	1,10		–		0,80
Медь и медные сплавы	1,63	1,45	1,36		–		0,90

## 17. Минимальные радиусы сгиба стального листа

Расположение линии сгиба относительно волокон проката	Сталь			
	10	20, Ст3	35, Ст5	45
Поперек	—	$\frac{0,1s}{0,5s}$	$\frac{0,3s}{0,8s}$	$\frac{0,5s}{s}$
Вдоль	$\frac{0,4s}{0,8s}$	$\frac{0,5s}{s}$	$\frac{0,8s}{1,5s}$	$\frac{s}{1,7s}$

Примечания: 1. В числителе приведены радиусы сгиба для отожженных листов, в знаменателе — для нагартованных.

2. Минимальные радиусы сгиба применяют только в случае конструктивной необходимости.

3. При сгибе под углом к направлению проката минимальный радиус сгиба определяют как промежуточный в зависимости от угла наклона линии сгиба.

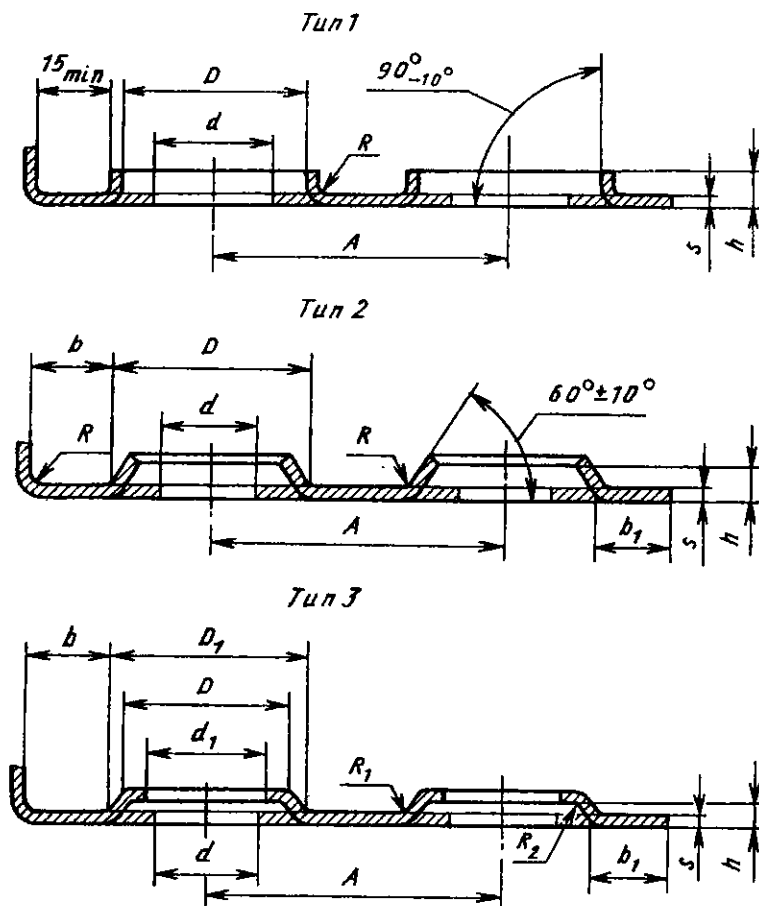


Рис. 8. Отбортовки

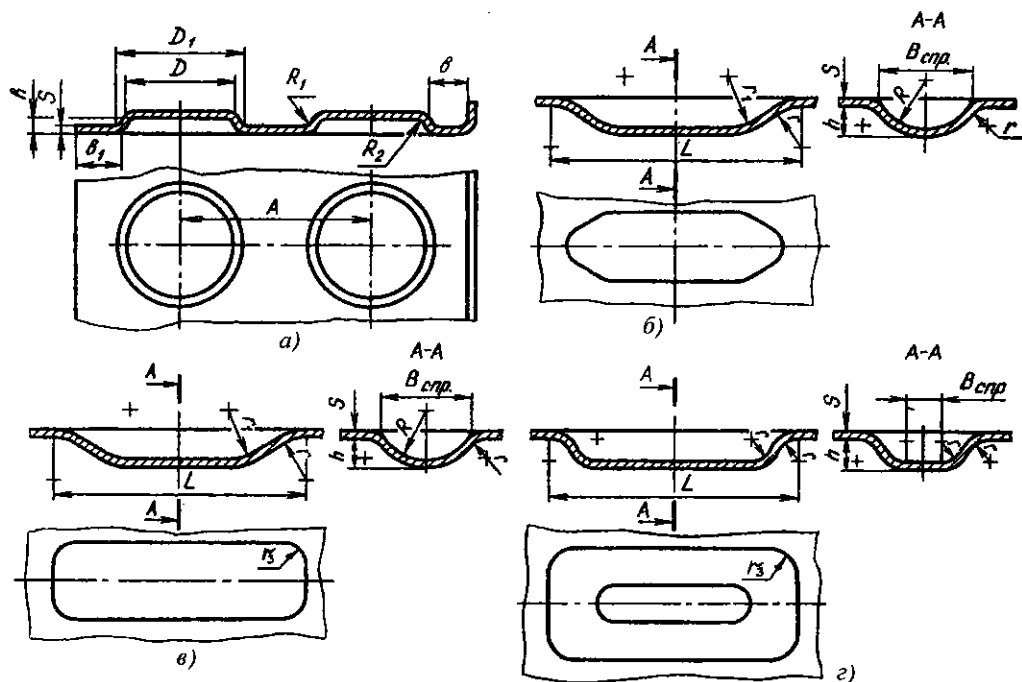


Рис. 9. Выдавки:  
 а – глухая отбортовка; б, в и г – рифты соответственно типа 1, 2 и 3

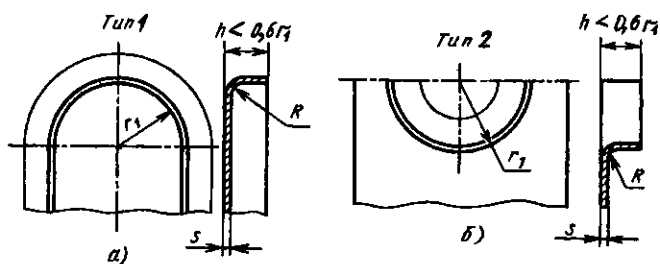
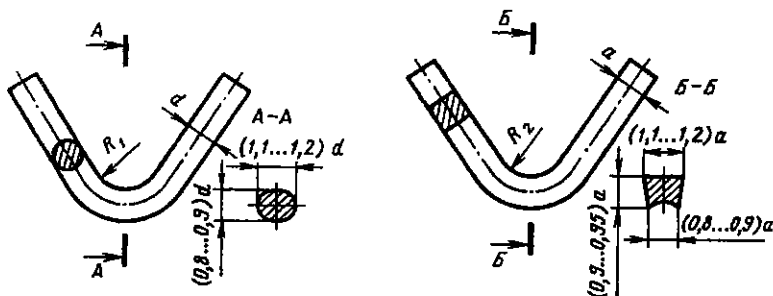


Рис. 10. Борты:  
 а – выпуклый; б – вогнутый

18. Минимальные радиусы сгиба металлов круглого ( $R_1$ ) и квадратного ( $R_2$ ) сечений, мм



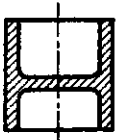
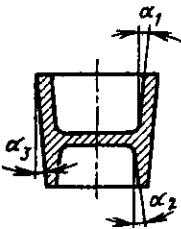
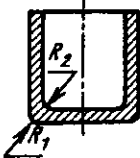
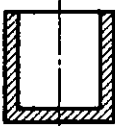




Окончание табл. 18

Диаметр круга или сторона квадрата, мм	Сталь					Медь М3, латунь Л63
	Ст3, 20		Ст5, 45		60Г, 60С2	
	$R_1$	$R_2$	$R_1$	$R_2$	$R_1$	$R_2$
2	0,6	—	—	—	—	0,6
3	1	—	—	—	—	1
4	1	—	2	—	—	1
6	2	3	4	6	5	2
8	3	4	5	8	6	2
10	8	10	10	10	13	6
12	10	—	13	—	16	6
16	13	16	16	16	22	10
20	16	20	20	20	25	13
25	20	25	25	25	30	16
30	25	30	30	30	40	18

Примечание. В случае недопустимости искажения профиля в сечениях А-А и В-В радиусы принимают:  $R_1 \geq 1,5d$  и  $R_2 \geq 1,5a$ .

## 19. Технологи́чность заготовок, получаемых выдавливанием

Конфигурация выдавленной заготовки		Преимущество технологичной конструкции
рекомендуемая	нерекомендуемая	
		Отсутствие штамповочных уклонов упрощает конструкцию штампов, сокращает объем последующей механической обработки
		Введение в конструкцию внешних и внутренних радиусов закругления уменьшает износ инструмента, сокращает усилие выдавливания. Радиусы округления следует выбрать по табл. 20
		Отсутствие ступенчатых поверхностей с малыми перепадами по диаметру и глубоким отверстиям малого диаметра повышает стойкость инструмента

Окончание табл. 19

Конфигурация выдавленной заготовки		Преимущество технологичной конструкции
рекомендуемая	нерекомендуемая	
		Исключение подрезов, канавок, резьб и т.д. упрощает конструкцию инструмента; возможно получение точных поверхностей под внутреннюю или наружную резьбу
		Увеличение толщины дна или перемычки сокращает усилие в конце хода пуансона и повышает стойкость инструмента
		Целесообразная постановка размеров (с заданием толщины дна или фланца) повышает точность размеров поверхностей, оформляемых в штампе, и упрощает последующую механическую обработку

20. Рекомендуемые радиусы закруглений при выдавливании, мм

Размер детали (в плане), мм	Радиус закругления	
	внешний $R_1$	внутренний $R_2$
До 10	0,5...2,0/0,3...1,0	1,0...3,0/0,5...1,5
Св. 10 до 25	0,7...2,0/0,5...1,5	1,5...4,0/0,7...2,0
» 25 » 50	1,0...3,0/0,7...2,0	2,0...5,0/1,0...3,0
» 50 » 80	1,5...5,0/1,0...3,0	2,5...7,0/1,5...5,0
» 80 » 120	2,0...6,0/1,5...5,0	3,0...9,0/2,0...7,0
» 120 » 160	3,9...9,0/2,0...8,0	4,0...10,0/3,0...9,0



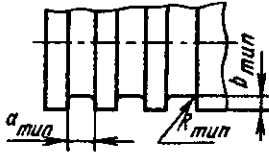
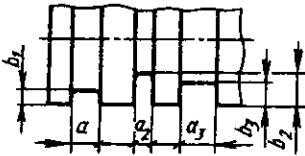
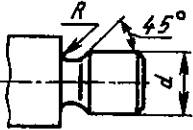
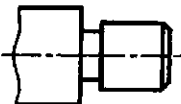
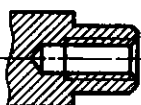
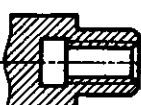
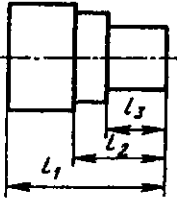
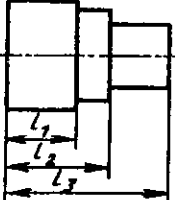
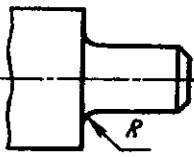
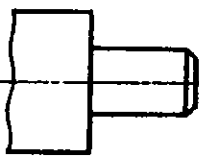
Примечание. В числителе приведены радиусы при нормальной точности, в знаменателе – при вышенной.

**ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ, ПОДВЕРГАЕМЫХ ОБРАБОТКЕ РЕЗАНИЕМ**

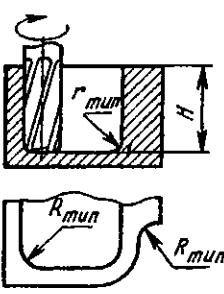
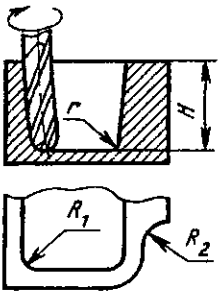
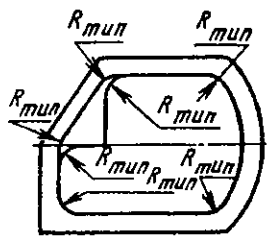
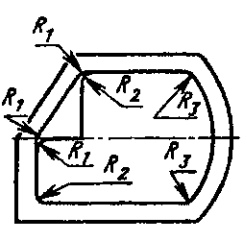
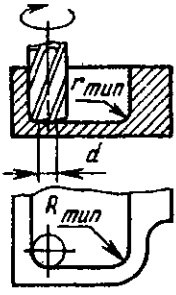
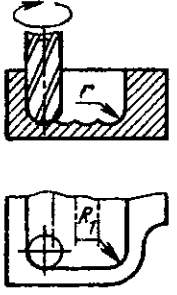
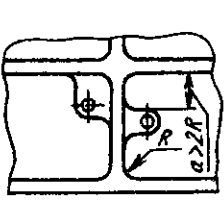
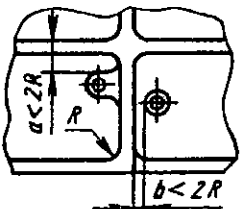
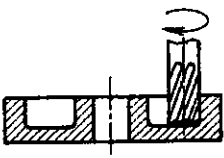
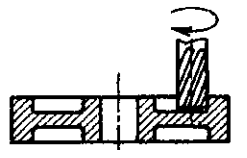
При конструировании деталей, подвергаемых обработке резанием (табл. 21), необходимо обеспечить возможность обработки по-

верхностей по известным схемам и с применением типовых технологических средств. Не следует предусматривать в конструкции детали элементы, препятствующие свободному доступу инструмента к месту обработки или контролю, а также использовать материалы, плохо обрабатываемые резанием.

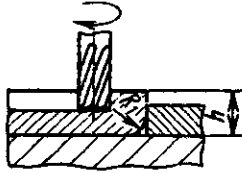
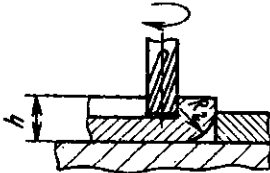
## 21. Конструктивное исполнение деталей при различных видах обработки резанием

Конфигурация детали		Преимущества технологичной конструкции
рекомендуемая	нерекомендуемая	
<i>Токарная обработка</i>		
		Введение постоянных технологических баз (центровых отверстий) позволяет повысить точность и сократить трудоемкость обработки соосных ступенчатых поверхностей; форма и размеры центровых отверстий приведены в табл. 22 – 24 по ГОСТ 14034–75 (в ред. 1981 г.)
		
		Применение канавок для выхода шлифовального круга стандартной формы сокращает число применяемых инструментов и число переходов, повышает производительность обработки; форма и размеры канавок должны соответствовать ГОСТ 8820–69 (в ред. 1981 г.) (табл. 25 и 26)
		Замена расточки для выхода резьбообразующего инструмента удлинением глубины сверления обеспечивает применение более простого инструмента и снижение трудоемкости обработки. Форма и размеры выхода внутренних и наружных резьб должны соответствовать ГОСТ 10549–80 (в ред. 1988 г.)
		Целесообразная простановка продольных размеров облегчает наладку станка и сокращает трудоемкость обработки
		Наличие радиуса закругления повышает стойкость инструмента

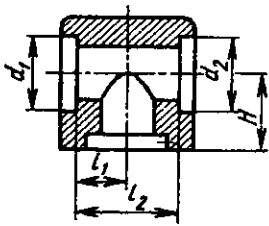
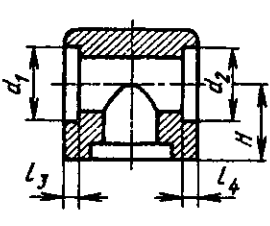
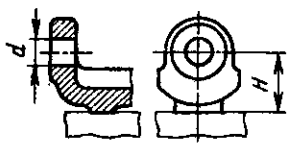
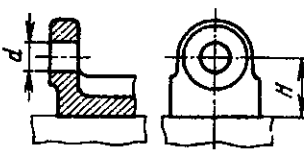


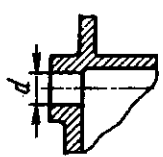
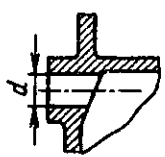
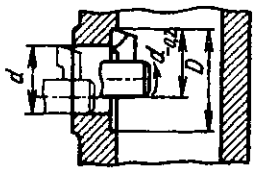
Продолжение табл. 21

Конфигурация детали		Преимущества технологичной конструкции
рекомендуемая	нерекомендуемая	
<i>Фрезерная обработка</i>		
		<p>Ограничение отношения радиуса сопряжения стенок к высоте детали определяет возможность применения более жесткого инструмента, повышает точность и производительность обработки (табл. 27)</p>
		<p>Унификация радиусов сопряжения элементов детали сокращает число типоразмеров и смен инструмента</p>
		<p>Выбор оптимального соотношения радиусов сопряжения <math>R_{тип}</math> и <math>r_{тип}</math> обеспечивает наибольшую торцовую поверхность инструмента и повышение производительности при обработке плоскости полки</p>
		<p>Рациональное размещение приливов по отношению к стенкам обеспечивает снижение объема слесарной доработки</p>
		<p>Размещение поверхностей, подвергаемых обработке, с одной стороны детали сокращает трудоемкость обработки за счет уменьшения числа установов деталей</p>

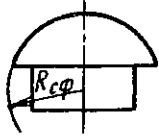
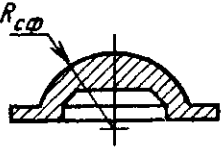
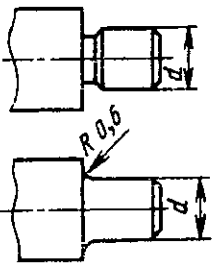
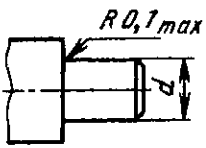
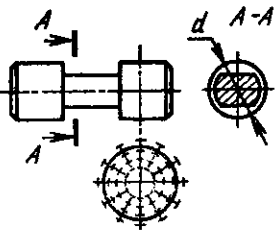
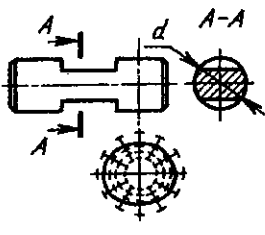
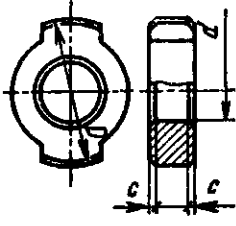
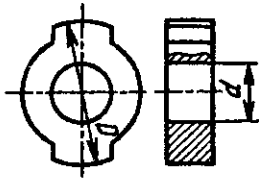
Продолжение табл. 21

Конфигурация детали		Преимущества технологичной конструкции
рекомендуемая	нерекомендуемая	
 <p><math>R_1 &lt; h</math></p>	 <p><math>R_2 \approx h</math></p>	Уменьшение радиуса закругления фланца отливки способствует повышению точности установки детали в приспособлении

Обработка на расточных, сверлильных и многооперационных станках

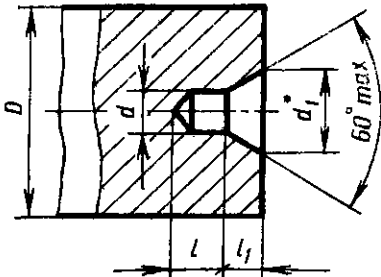
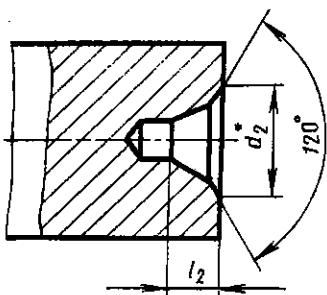
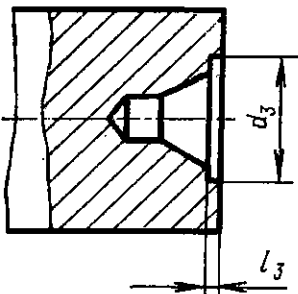
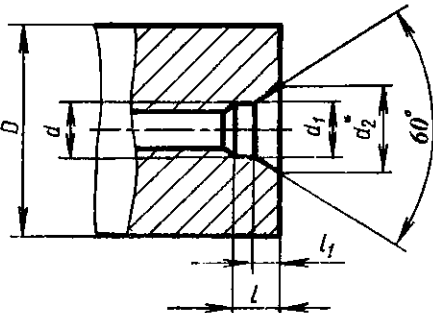
		Простановка размеров от одной технологической базы обеспечивает возможность обработки двух поверхностей детали с одного установка и упрощает настройку станка
		Выполнение технологических баз в виде приливов сокращает трудоемкость предшествующей обработки и повышает точность установки детали на расточной операции
		Перпендикулярность отверстий к плоскости общего торца снижает трудоемкость обработки за счет сокращения времени на переустановку детали
		Технологичное исполнение детали обеспечивает улучшение условий работы инструмента на входе и выходе и способствует повышенной точности поверхности
		Согласование диаметра цевочки заднего торца с диаметром отверстия обеспечивает возможность выполнения операции с введением расточной оправки в отверстие при невращающемся шпинделе

Окончание табл. 21

Конфигурация детали		Преимущества технологичной конструкции
рекомендуемая	нерекомендуемая	
<i>Шлифование и притирка</i>		
		Конструкция деталей со свободным выходом обрабатываемой поверхности позволяет применить наиболее целесообразную схему обработки (из нескольких возможных), повышает точность и производительность операции
		Наличие канавок для выхода инструмента или большого радиуса закругления облегчает подготовку инструмента и повышает производительность обработки
		Непрерывность обрабатываемой поверхности (постоянная длина образующей) обеспечивает более высокую точность формы, так как площадь контакта детали и инструмента неизменна, а следовательно, и давление в процессе обработки остается постоянным
		Наличие фасок в заготовках деталей из хрупких материалов предотвращает выкрашивание кромок при шлифовании

Примечание. Форму и размеры центровых отверстий конструктор должен назначать в соответствии с выполняемыми этими отверстиями технологическими функциями (см. табл. 22 – 24).

## 22. Конфигурация центровых отверстий (по ГОСТ 14034-74 (в ред. 1981 г.))

Форма центрового отверстия	Эскиз	Применение
А		<p>В тех случаях, когда:          после обработки необходимость в центровых отверстиях отпадает;          сохранность центровых отверстий в процессе эксплуатации гарантируется соответствующей термообработкой</p>
В		<p>Центровые отверстия:          являются базой для многократного использования;          сохраняются в готовых изделиях</p>
Т		<p>Для оправок и калибров-пробок</p>
F		<p>Для монтажных работ, транспортирования, хранения и термообработки деталей в вертикальном положении</p>

Окончание табл. 22

Форма центрального отверстия	Эскиз	Применение
H		То же, с учетом случаев применения центральных отверстий с предохранительной фаской формы B

\* Размеры для справок.

Примечание. ГОСТ 14034-74 (в ред. 1981 г.) предусматривает также и другие формы и размеры центральных отверстий.

### 23. Основные размеры, мм, центральных отверстий с углом конуса 60° формы A, B и T по ГОСТ 14034-74 (см. табл. 22)

D	d	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub> , H14	l, не менее	l <sub>1</sub>		l <sub>2</sub> , H12	l <sub>3</sub> , не менее	Масса детали, кг, не более
						номинальное	предельное отклонение			
2,0	(0,5)	1,06	—	—	0,8	0,48	H11	—	—	—
2,5	(0,63)	1,32	—	—	0,9	0,60		—	—	—
3	(0,8)	1,70	2,50	—	1,1	0,78		1,02	—	—
4	1,0	2,12	3,15	—	1,3	0,97		1,27	—	—
5	(1,25)	2,65	4,00	—	1,6	1,21		1,60	—	—
6	1,6	3,35	5,00	—	2,0	1,52	1,99	—	—	
10	2,0	4,25	6,30	7,0	2,5	1,95	2,54	0,6	50	
14	2,5	5,30	8,00	9,0	3,1	2,42	3,20	0,8	80	
20	3,15	6,70	10,00	12,0	3,9	3,07	4,03	0,9	90	
30	4	8,50	12,50	16,0	5,0	3,90	5,06	1,2	100	
40	(5)	10,60	16,00	20,0	6,3	4,85	6,41	1,6	200	
60	6,3	13,20	18,00	25,0	8,0	5,98	7,36	1,8	360	
80	(8)	17,00	22,40	32,0	10,1	7,79	9,35	2,0	500	
100	10	21,20	28,00	36,0	12,8	9,70	11,66	2,5	800	
120	12	25,40	33,00	—	14,6	11,60	13,80	—	1500	

Примечания: 1. Размеры, заключенные в скобки, применять не рекомендуется.

2. Длина конической поверхности  $l_1$  в технически обоснованных случаях может быть уменьшена до  $0,5l_1$ .

3. Параметр шероховатости посадочных поверхностей центрального отверстия должна быть не более  $Ra = 2,5$  мкм; предохранительных фасок — не более  $Rz = 80$  мкм.

4. Пример обозначения центрального отверстия формы A диаметром  $d = 1$  мм:

Отв. центр. A1 ГОСТ 14034-74.



**24. Основные размеры, мм, центровых отверстий  
с метрической резьбой формы F и H по ГОСТ 14034-74 (см. табл. 22)**

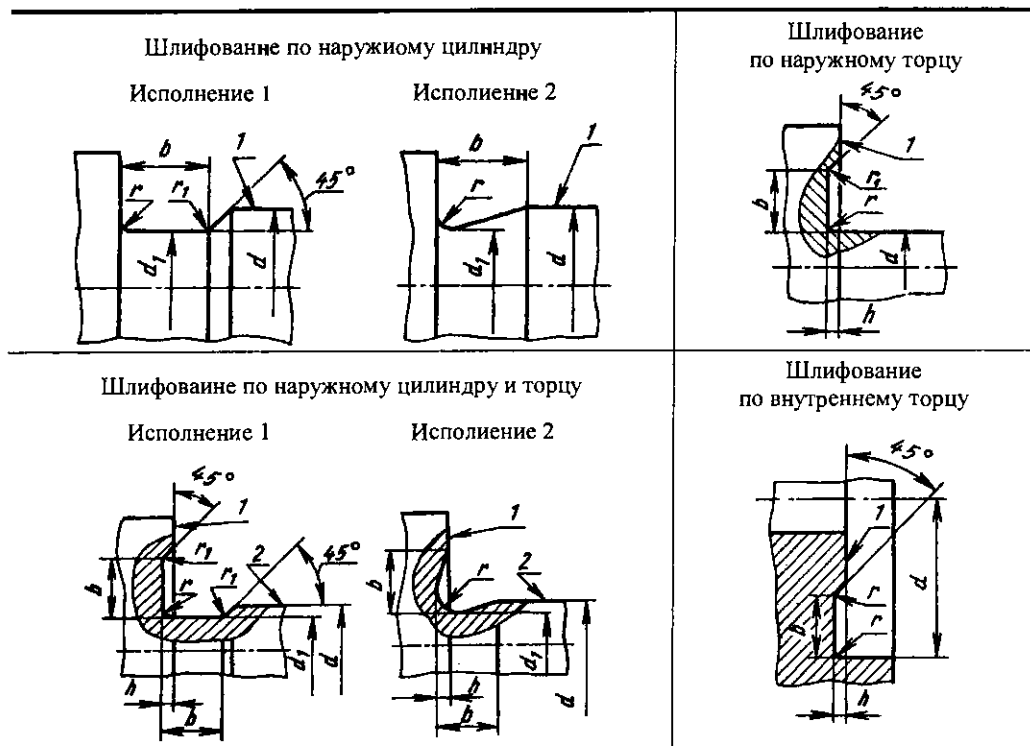
D для формы		d	d <sub>1</sub> , H14	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	l <sub>1</sub> , не более	l <sub>1</sub> , H12	l <sub>2</sub> , не более	l <sub>3</sub> , H12
F	H								
8	—	M3	3,2	5	—	2,8	1,56	—	—
10	16	M4	4,3	6,5	8,2	3,5	1,90	4,0	2,4
12,5	20	M5	5,3	8,0	11,4	4,5	2,30	5,5	3,3
16	25	M6	6,4	10,0	13,3	5,5	3,00	6,5	4,0
20	32	M8	8,4	12,5	16,0	7,0	3,50	8,0	4,5
25	40	M10	11,0	15,6	19,8	9,0	4,00	10,2	5,2
32	50	M12	13,0	18,0	22,0	10,0	4,30	11,2	5,5
40	63	M16	17,0	22,8	28,7	11,0	5,00	12,5	6,5
63	80	M20	21,0	28,0	33,0	12,5	6,00	14,0	7,5
100	100	M24	25,0	36,0	43,0	14,0	9,50	16,0	11,5

Пример обозначения центрального отверстия формы F с диаметром резьбы  $d = M3$ :  
Отв. центр. F M3 ГОСТ 14034-74.

Для сокращения периодов правки шлифовальных кругов на обрабатываемых деталях следует предусматривать канавки для вы-

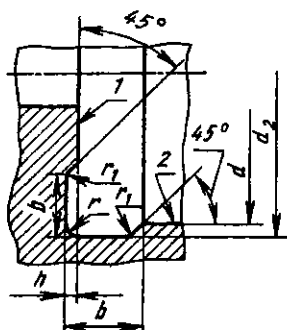
хода инструмента. Форма и размеры канавок установлены ГОСТ 8820-69 (в ред. 1981 г.) (табл. 25 - 26).

**25. Канавки для выхода инструмента при круглом шлифовании  
(по ГОСТ 8820-69 (в ред. 1981 г.))**

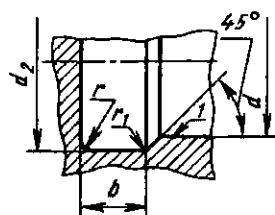


Окончание табл. 25

Шлифование по внутреннему цилиндру и торцу



Шлифование по внутреннему цилиндру



Размеры, мм

$b$	$d_1$ (наружное шлифование)	$d_2$ (внутреннее шлифование)	$h$	$r$	$r_1$	$d \approx$
1	$d - 0,3$	$d + 0,3$	0,2	0,3	0,2	До 10
1,6				0,5	0,3	
2	$d - 0,5$	$d + 0,5$	0,3	1,0	0,5	Св. 10 до 50
3				1,6		Св. 50 до 100
5	$d - 1,0$	$d + 1,0$	0,5	2,0	1	Св. 100
8				3,0		
10						

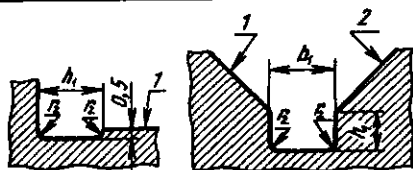
Примечания: 1. 1 и 2 – шлифуемые поверхности. Для одной детали следует назначать канавки одинакового размера.

2. ГОСТ 8820–69 (в ред. 1981 г.) предусматривает также и другие формы и размеры канавок для выхода шлифовального круга.

26. Канавки для выхода круга при плоском шлифовании (ГОСТ 8820–69 (в ред. 1981 г.))

Форма канавок

Размеры, мм



1 и 2 – шлифуемые поверхности

	$b_1$	$h_1$	$r_2$
2		1,6	0,5
3		2,0	1,0
5		3,0	1,6

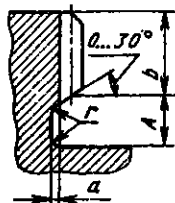
**27. Минимальные радиусы закругления  $R_{\text{тип}}$  в углах детали с учетом глубины фрезерования и формы фрезы (см. табл. 21)**

Материал детали	Глубина фрезерования $H$ , мм			
	до 10	до 20	до 40	до 60
Алюминиевые сплавы	$\frac{3}{4}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{6}{8}$	$\frac{8}{10}$
	$\frac{5}{6}$	$\frac{8}{10}$	$\frac{10}{12}$	$\frac{16}{16}$

Примечание. В числителе приведен радиус закругления для фрезы с плоским торцом, в знаменателе – для фрезы с закругленным торцом.

Канавки для выхода инструмента следует предусматривать также в конструкции зубчатых колес (табл. 28–29).

**28. Канавки для выхода долбяков (ГОСТ 14775–81)**



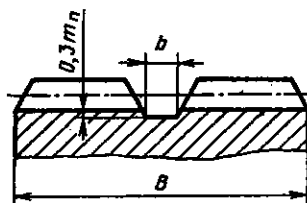
$$A = A_1 + A_2$$

Профиль и размеры канавок должны соответствовать указанным на чертеже и в таблице

Ширина $b$ зубчатого венца	$A_1$ , не менее	Размеры, мм			
		$a$ , не менее		$r$ , не менее	
		для зубчатых колес	для шлицевых венцов	для зубчатых колес	для шлицевых венцов
До 10	1,0	0,5	0,25	0,4	0,2
Св. 10 до 15	1,5				
» 15 » 20	2,0				
» 20 » 25	2,5				
» 25 » 30	3,0	1,0	1,0	1,0	1,0
» 30 » 35					
» 35 » 40					
» 40 » 45					
» 45 » 50	5,5	2,0	1,6	1,6	1,6
» 50 » 55					
» 55 » 60					
» 60 » 65					
» 65 » 70	6,0	3,0	1,6	1,6	1,6
» 70 » 75					
» 75 » 80					
» 80 » 90					
» 90 » 100	7,0	3,0	1,6	1,6	1,6
» 100 » 120					

Примечание. В формуле  $A = A_1 + A_2$ :  $A_1$  – составляющая, которая учитывает перебег долбяка;  $A_2$  – составляющая, которая зависит от свойств обрабатываемого материала и условий резания;  $A_2 = (1...3) A_1$ , где рекомендуется принимать: наименьшее значение – при обработке хрупких материалов с характерной стружкой скалывания, малых толщинах срезаемого материала и интенсивном срыве образующейся стружки смазывающе-охлаждающей жидкостью; наибольшее значение – при обработке вязких материалов с характерной сливной стружкой и больших толщинах срезаемого материала.

## 29. Канавки для выхода червячных фрез при нарезании шевроиных колес



Нормальный модуль $m_n$ , мм	Ширина канавки $b$ , мм, при угле наклона зубьев по делительному цилиндру, °			Нормальный модуль $m_n$ , мм	Ширина канавки $b$ , мм, при угле наклона зубьев по делительному цилиндру, °		
	св. 15 до 25	св. 25 до 35	св. 35 до 45		св. 15 до 25	св. 25 до 35	св. 35 до 45
1	20	22	24	5	60	65	70
1,5	24	26	28	6	70	75	80
2	28	30	34	7	75	80	85
2,5	34	36	40	8	85	90	95
3	38	40	45	9	95	105	110
3,5	45	50	55	10	100	110	115
4	50	55	60	12	115	125	135
4,5	55	60	65				

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Амров Ю.Д.** Основы конструирования: Творчество. Стандартизация. Экономика: Справочное пособие. М.: Изд-во стандартов, 1991. 392 с.

2. **Анурьев В.И.** Справочник конструктора-машинностроителя. В 3 т.: Т. 1 / Под ред. И.Н. Жестковой. М.: Машиностроение, 2001. 920 с.

3. **Сафраган Р.Э., Кузнецов Ю.И., Гончаренко Б.А.** Технологическая подготовка производства для применения станков с ЧПУ. Киев: Техника, 1981. 255 с.

4. **Технологичность** конструкции изделия: Справочник / Ю.Д. Амров, Т.К. Алферова, П.Н. Волков и др.; Под общ. ред. Ю.Д. Амрова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1990. 768 с.

## Глава 2

# ТИПОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВЫСОКОТОЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЛИТЕЙНЫХ И ДЕФОРМИРУЕМЫХ СПЛАВОВ. РАЗМЕРНАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ МАТЕРИАЛОВ

**Размерная стабильность.** Схемы типовых технологических процессов для высокоточных деталей. Самопроизвольное изменение размеров и формы металлических деталей в процессе эксплуатации и хранения является препятствием на пути обеспечения возрастающих требований к точности и надежности прецизионных машин и приборов. Размерная нестабильность для ряда машин не должна превышать  $10^{-6}$ ... $10^{-7}$  мм/мм в условиях длительной эксплуатации при постоянной и переменной температурах в интервале от  $-50$  до  $+100$  °С, для чего требуется использовать материалы, обеспечивающие постоянство размеров, а также специальные методы и технологические процессы стабилизирующей обработки.

*Размерная стабильность* – это свойство материала сопротивляться изменению его размеров в условиях эксплуатации изделия, включая хранение (ГОСТ 17535–77 (в ред. 1989 г.)).

Размерная стабильность металлов и сплавов оценивается следующими характеристиками сопротивления микропластическим деформациям:

*условным пределом упругости* – напряжением, которое (при кратковременном нагружении) вызывает остаточную деформацию 0,005 % при растяжении или 0,001 % при изгибе; условный предел упругости определяют по наличию заданной остаточной деформации после разгрузки и ее нарастанию при последующем нагружении;

*условным пределом релаксации (ползучести)* – напряжением, вызывающим остаточную деформацию 0,001 % в условиях релаксационных испытаний в интервале 500...3000 ч (или в условиях установившейся ползучести в том же интервале).

Высокоточные металлические детали должны изготавливаться из материалов с характеристиками размерной стабильности, приведенными в табл. 1.

### 1. Характеристики размерной стабильности материалов

Материал	Режим термической обработки	Характеристика размерной стабильности материалов		
		Условный предел упругости при 20...25 °С, Н/мм <sup>2</sup> , не менее	Условный предел релаксации при изгибе, Н/мм <sup>2</sup> , при	
			20...25 °С	95...105 °С

#### *Литейные алюминиевые сплавы*

АК12 (АЛ2) по ГОСТ 1583–93	Отжиг при +290 °С	25	8...12	6...8
АК12 (АЛ2) по ГОСТ 1583–93	Закалка с +540 °С на воздухе, старение при +160 °С в течение 24 ч	120	40...50	25...35
АК7ч (АЛ9) по ГОСТ 1583–93	Отжиг при +290 °С	35	15...18	10...15
	Закалка с +535 °С в воде, старение при +230 °С	85	–	16...18

Продолжение табл. 1

Материал	Режим термической обработки	Характеристика размерной стабильности материалов		
		Условный предел упругости при 20...25 °С, Н/мм <sup>2</sup> , не менее	Условный предел релаксации при изгибе, Н/мм <sup>2</sup> , при	
			20...25 °С	95...105 °С
<i>Литейные магниевые сплавы</i>				
МЛ5 по ГОСТ 2856-79 (в ред. 1988 г.)	Закалка с +415 °С на воздухе, старение при +190 °С в течение 16 ч	25	15...20	0...2
МЛ10 по ГОСТ 2856-79 (в ред. 1988 г.)	Закалка с 530...540 °С на воздухе, старение при +200 °С в течение 8 ч	50	—	40...50
<i>Литейные стали</i>				
15Л по ГОСТ 977-88 (в ред. 2002 г.)	Нормализация с +970 °С, нормализация с +900 °С, отпуск при +630 °С	230	130...180	80...120
35Л по ГОСТ 977-88 (в ред. 2002 г.)	Нормализация с +950 °С, нормализация с +870 °С, отпуск при +650 °С	320	200...250	160...200
50Л по ГОСТ 977-88 (в ред. 2002 г.)	Нормализация с +950 °С, нормализация с +860 °С, отпуск при +650 °С	370	230...270	180...220
20Х13Л по ГОСТ 977-88 (в ред. 2002 г.)	Закалка с +1030 °С в масле, отпуск при +570 °С в течение 4 ч	550	—	300...350
<i>Деформируемые алюминиевые сплавы</i>				
Д1 по ГОСТ 21488-97	Отжиг при +370 °С	—	—	20...25
	Закалка с +500 °С в воде, старение при +190 °С в течение 18 ч	220	—	30...40
Д16 по ГОСТ 21488-97	Отжиг при +370 °С	—	—	20...25
	Закалка с +500 °С в воде, естественное старение	—	30...40	20...25
	Закалка с +500 °С в воде, старение при +190 °С в течение 18 ч	300	—	40...50
ВАД-1; ВАД-1Ф по технической документации, утвержденной в установленном порядке	Закалка с +500 °С в воде, старение при +190 °С в течение 18 ч	250	—	40...50

Продолжение табл. 1

Материал	Режим термической обработки	Характеристика размерной стабильности материалов		
		Условный предел упругости при 20...25 °С, Н/мм <sup>2</sup> , не менее	Условный предел релаксации при изгибе, Н/мм <sup>2</sup> , при	
			20...25 °С	95...105 °С
САС-1 по технической документации, утвержденной в установленном порядке	Отжиг при +400 °С	35	—	10...12
В95 по ГОСТ 21488-97	Закалка с +470° С в воде, старение при +140 °С в течение 32 ч	400	50...60	5...10
АМц по ГОСТ 21488-97	Отжиг при +270 °С	65	—	6...9
АМг6 по ГОСТ 21488-97	Отжиг при +330°С	80	—	6...8
<i>Деформируемые магниевые сплавы</i>				
МА8 по ГОСТ 14957-76 (в ред. 1983 г.)	Отжиг при +340 °С	45	—	8...12
МА2-1 по ГОСТ 14957-76 (в ред. 1983 г.)	Отжиг при +280 °С	—	—	4...6
<i>Деформируемые стали</i>				
35 по ГОСТ 1050-88 (в ред. 1992 г.)	Закалка с +860 °С в воде, отпуск при +480 °С	500	—	350...400
45 по ГОСТ 1050-88 (в ред. 1992 г.)	Закалка с +840 °С в воде, отпуск при +510 °С	570	—	400...430
20Х13 по ГОСТ 5949-75 (в ред. 1991 г.)	Закалка с +1000 °С на воздухе, отпуск при +575 °С	720	—	400...450
40Х13 по ГОСТ 5949-75 (в ред. 1991 г.)	Закалка с +1060 °С в масле, отпуск при +400 °С в течение 5 ч	1000	—	550...600
30ХГСА по ГОСТ 4543-71 (в ред. 1990 г.)	Закалка с +900 °С в масле, отпуск при +530 °С в течение 3 ч	960	700...750	550...600
40ХН2СВА по технической документации, утвержденной в установленном порядке	Закалка с +900 °С в масле, обработка холодом при -70 °С, отпуск при +270 °С в течение 4 ч	1400	—	520...600

Продолжение табл. 1

Материал	Режим термической обработки	Характеристика размерной стабильности материалов		
		Условный предел упругости при 20...25 °С, Н/мм <sup>2</sup> , не менее	Условный предел релаксации при изгибе, Н/мм <sup>2</sup> , при	
			20...25 °С	95...105 °С
X16H25M6AG (ЭИ395) по технической документации, утвержденной в установленном порядке	Закалка с +1100 °С в воде, отпуск при +350 °С в течение 10 ч	300	—	140...200
25X13H2 (ЭИ474) по технической документации, утвержденной в установленном порядке	Закалка с +1060 °С в масле, отпуск при +650 °С в течение 4 ч	400	—	270...320
12X18H10T (X18H10T) по ГОСТ 5632-72 (в ред. 1989 г.)	Закалка с +1070 °С в воде, деформация 50 %, стабилизирующий отжиг при +350 °С в течение 10 ч	650	—	150...180

## Сплавы на медной основе

БрОФ6,5-0,15 по ГОСТ 10025-78 (в ред. 1989 г.)	Деформация 80 %, отжиг при +330 °С в течение 1 ч	420*	—	14...18
БрОФ7-0,2 по ГОСТ 10025-78 (в ред. 1989 г.)	Деформация 80 %, отжиг при +330 °С в течение 1 ч	460*	—	15...20
БрКМц3-1 по ГОСТ 1628-78 (в ред. 1990 г.)	Деформация 50 %, отжиг при +300 °С в течение 1 ч	380*	—	53...55
БрАЖ9-4 по ГОСТ 1628-78 (в ред. 1990 г.)	Деформация 50 %, отжиг при +330 °С в течение 1 ч	730*	—	38...42
БрБ2 по ГОСТ 18175-78 (в ред. 1988 г.)	Закалка с +780 °С в воде, старение при +315 °С в течение 3 ч	500*	—	300
БрХ08-В по технической документации, утвержденной в установленном порядке	Закалка с +970 °С в воде, деформация 80 %, старение при +350 °С в течение 6 ч	220	—	55...60
Л68 по ГОСТ 931-90	Деформация 50 %, отжиг при +230 °С в течение 1 ч	340*	—	16...18



Окончание табл. 1

Материал	Режим термической обработки	Характеристика размерной стабильности материалов		
		Условный предел упругости при 20...25 °С, Н/мм <sup>2</sup> , не менее	Условный предел релаксации при изгибе, Н/мм <sup>2</sup> , при	
			20...25 °С	95...105 °С
БрАМц 9-2 по ГОСТ 1595-90	Деформация 50 %, отжиг при +350 °С в течение 1 ч	480*	—	86...89
Л63 по ГОСТ 931-90	Деформация 50 %, отжиг при +230 °С в течение 1 ч	360*	—	14...15
ЛС59-1 по ГОСТ 931-90	Деформация 50 %, отжиг при +280 °С в течение 1 ч	400*	—	8...10

*Титановые сплавы*

BT1-0 по технической документации, утвержденной в установленном порядке	Отжиг при +680 °С в течение 1,5 ч	175	—	50...60
BT1-1 по технической документации, утвержденной в установленном порядке	Отжиг при +680 °С в течение 1,5 ч	300	—	70...80
BT5 по технической документации, утвержденной в установленном порядке	Отжиг при +750 °С в течение 1,5 ч	600	—	300...400
BT6 по технической документации, утвержденной в установленном порядке	Отжиг при +800 °С в течение 1,5 ч	650	—	80...100

*Сплавы специальные*

36НХТЮ по ГОСТ 10994-74 (в ред. 1990 г.)	Закалка с +930 °С в воде, старение при +740 °С в течение 3 ч	750	—	600...650
МНЦ15-20 по ГОСТ 492-73 (в ред. 1989 г.)	Деформация 50 %, отжиг при +400 °С в течение 1 ч	550	—	200...250

\* Данные характеризуют предел упругости, определенный в условиях изгиба; без звездочки — в условиях растяжения.

Для стабилизации размеров деталей должны применять специальные методы.

1. Стабилизирующий нагрев назначается для стабилизации фазового и структурного состояния материала, обеспечивающего оптимальное сопротивление микропластическим деформациям и понижение внутренних напряжений в деталях.

Эффективность стабилизирующего нагрева определяется его температурой. Оптимальный интервал температуры стабилизирующего нагрева зависит от природы сплава, его структурного состояния и предшествующих технологических операций (горячей или холодной пластической деформации, обработки резанием и т.п.).

2. Обработку холодом назначают для понижения содержания остаточного аустенита в закаленной стали и проводят непосредственно после закалки (перед отпуском на требуемую твердость) при температуре от минус 50 до минус 80 °С. Обработка холодом является составной частью термоциклической обработки (ТЦО).

3. ТЦО назначают для стабилизации размеров деталей, материал которых содержит фазы с резко различающимися коэффициентами линейного расширения, а также для деталей из некоторых сплавов с гексагональной решеткой.

4. Эффективность ТЦО возрастает с понижением температуры охлаждения.

5. Скорость изменения температуры не влияет на эффективность ТЦО для материалов,

имеющих в структуре фазы с различными коэффициентами линейного расширения. Число циклов нагрева и охлаждения должно быть не менее трех.

6. ТЦО во всех случаях должна заканчиваться операцией нагрева.

В зависимости от сохранения постоянства формы и размеров (в условиях эксплуатации, включая хранение), геометрической точности и точности расположения главных поверхностей детали подразделяются по категориям (табл. 2).

Удельная толщина стенки детали

$$\Delta S = \frac{S_{\text{ср}}}{L_{\text{max}}},$$

где  $S_{\text{ср}}$  – среднеприведенная площадь поперечного сечения детали в  $\text{мм}^2$ , определяемая как отношение объема детали в  $\text{мм}^3$  к периметру поверхности детали в плоскости расположения осей главных поверхностей детали в мм;  $L_{\text{max}}$  – наибольший габаритный размер детали, определяемый в плоскости расположения главных поверхностей детали в мм.

В табл. 3 и 4 приведены соответственно схемы типовых технологических процессов для высокоточных деталей из литейных и деформируемых сплавов размером до 600 мм (ГОСТ 17535–77 (в ред. 1989 г.)). Режимы термической обработки деталей из литейных и деформируемых сплавов регламентируются ГОСТ 17535–77 (в ред. 1989 г.) (табл. 5 – 7).

## 2. Категории точности деталей

Категория	Постоянство размеров детали в заданных условиях, %	Отклонение формы и расположения главных поверхностей, мм
1	Св. 0,0050	Св. 0,050
2	0,0002...0,0050	0,005...0,050
3	До 0,0002	До 0,005

Категории точности деталей зависят от удельной толщины стенки  $\Delta S$ :

$\Delta S$ , мм

До 1,5 ..... Детали 1 и 2-й категорий переводят во 2 и 3-ю категории соответственно

Св. 3,0 ..... Детали 2 и 3-й категорий переводят в 1 и 2-ю категории соответственно

**Примечание.** Категория точности повышается на одну ступень для деталей с многоярусным расположением обрабатываемых поверхностей (три и более) и для деталей, в которых соотношение толщин смежных сечений стенок больше 5.



4. Типовые технологические процессы для высокоточных деталей из деформируемых сплавов

Этап технологического процесса	Категория точности детали		
	1	2	3
1	Получение заготовки		
2	Предварительная обработка резанием с оставлением припуска до 2,0 мм на сторону		
3	Термическая обработка по режиму 1		
4	Обработка резанием с оставлением припуска до 0,5 мм на сторону для наиболее точных размеров		
5	Отделочная операция (нанесение гальванического или лакокрасочного покрытия)	Термическая обработка по режиму 2	
6	Окончательная обработка резанием	Отделочная операция (нанесение гальванического или лакокрасочного покрытия)	
7	-	Окончательная обработка резанием	
8	-	-	Термическая обработка по режиму 3

5. Режимы термической обработки деталей из литейных сталей и сплавов (режимы 1—4)

Марка стали или сплава	Твердость HRC или состояние материала	Режим 1				Режим 2				Среды охлаждения
		Термическая операция	Температура нагрева, °С	Время выдержки, ч	Среды охлаждения	Термическая операция	Температура нагрева, °С	Время выдержки, ч	Среды охлаждения	
AK12 (AJI2) по ГОСТ 1583-93	T2	Отжиг	От 270 до 290	От 3 до 5	Воздух	Отжиг	От 270 до 290	От 6 до 10	В печи до 150 °С, далее на воздухе	
		Закалка	От 530 до 540	От 4 до 6	Вода, нагретая до 70...90 °С	Отжиг	От 200 до 220	От 3 до 6		
AK7ч (AJI9) по ГОСТ 1583-93	T7	Старение	От 220 до 235	От 3 до 4	Воздух	Стабилизирующее старение	От 160 до 170	От 4 до 6	Воздух	
		Закалка	От 540 до 560	От 4 до 6						
АЦ4Мг (AJI24) по ГОСТ 1583-93	T6	Старение	От 160 до 170	От 12 до 14	Воздух	Стабилизирующее старение	От 160 до 170	От 4 до 6	Воздух	
		Закалка	От 410 до 420	От 8 до 12						
МЛ15 по ГОСТ 2856-79 (в ред. 1988 г.)	T6	Старение	От 185 до 195	От 8 до 10	Сжатый воздух	Отжиг	От 185 до 195	От 4 до 6	Воздух	
		Закалка	От 530 до 540	От 8 до 12						
МЛ10 по ГОСТ 2856-79 (в ред. 1988 г.)	T6	Старение	От 190 до 210	От 7 до 8	Воздух	Отжиг	От 195 до 205	От 4 до 6	Воздух	
		Закалка	От 530 до 540	От 8 до 12						

Продолжение табл. 5

Марка стали или сплава	Твердость НРС или состояние материала	Термическая операция	Температура нагрева, °С	Время выдержки, ч	Среда охлаждения	Термическая операция	Температура нагрева, °С	Время выдержки, ч	Среда охлаждения
15Л по ГОСТ 977-88 (в ред. 2002 г.)	-	Нормализация для деталей 3-й категории точности	От 950 до 1000	От 3 до 4	Защитная атмосфера, со скоростью, которую позволяет оборудование				
		Нормализация для деталей всех категорий точности	От 880 до 910						
15Л по ГОСТ 977-88 (в ред. 2002 г.)	-	Высокий отпуск для деталей всех категорий точности	От 640 до 660	От 5 до 6	В печи до +300 °С, далее на воздухе				В печи от +200 до +250 °С, далее на воздухе
		Нормализация для деталей 3-й категории точности	От 940 до 960						
35Л, 50Л по ГОСТ 977-88 (в ред. 2002 г.)	-	Нормализация для деталей всех категорий точности	От 850 до 870	От 3 до 4	Защитная атмосфера, со скоростью, которую позволяет оборудование				
		Высокий отпуск для деталей всех категорий точности	От 640 до 660						



Окончание табл. 5

Марка стали или сплава	Твердость HRC или состояние материала	Режим 3			Режим 4			Среды охлаждения	Время выдержки, ч	Среды охлаждения
		Термическая операция	Температура нагрева, °С	Время выдержки, ч	Среды охлаждения	Термическая операция	Температура нагрева, °С			
AK7ч (AJ19) по ГОСТ 1583-93	T7	Стабилизир- рующее старение	От 160 до 170	От 4 до 6	Воздух	От 115 до 125	От 4 до 6	Воздух		
	T6		От 185 до 195	От 2 до 4		От 95 до 105				
MЛ15 по ГОСТ 2856-79 (в ред. 1988 г.)	T6	Отжиг	От 195 до 205	От 5 до 6	В печи <sup>2</sup> до 200...250 °С, далее на воздухе	От 115 до 125	От 8 до 10	Воздух		
	T6		От 500 до 550	От 8 до 10		От 160 до 170				
15Л, 35Л, 50Л по ГОСТ 977-88 (в ред. 2002 г.)	28...34	Отжиг	От 340 до 360	От 8 до 10	В печи до +150 °С, далее на воздухе	Стабилизи- рующее старение	От 8 до 10	Воздух		
	40...46,5	Закалка	От 1000 до 1050	-	Масло или воздух					
20X13Л по ГОСТ 977-88 (в ред. 2002 г.)	42...49,5	Отпуск	От 240 до 260	От 2 до 5	Воздух	Отпуск	От 8 до 10	Воздух		
		Закалка	От 1000 до 1050	-	Масло или воздух					
		Отпуск	От 190 до 210	От 2 до 5	Воздух					

\*1) Время выдержки по нижнему пределу (0,5 ч) – при обработке в жидкости.

\*2) Допускается охлаждение в печи при открытой двери.

\*3) Операции отжига, закалки, высокого отпуска (режим 1) выполняются последовательно для деталей всех категорий точности независимо от окончательной твердости.



6. Режимы термической обработки деталей из деформируемых сплавов (режим 1)

Марка стали или сплава	Твердость HRC или состояние материала	Термическая операция	Температура нагрева, °С	Время выдержки, ч	Среда охлаждения		
САС-1 по технической документации, утвержденной в установленном порядке	—	Отжиг	От 400 до 420	От 5 до 7	В печи до +150 °С или воздух		
			От 180 до 200	От 2 до 3			
			От 250 до 300				
			От 310 до 330				
АМг2 по ГОСТ 4784-97	М	Отжиг	От 350 до 370	От 2 до 4	В печи до +200 °С или воздух		
АМг3 по ГОСТ 4784-97							
АМг6 по ГОСТ 4784-97							
Д1, Д16 по ГОСТ 4784-97							
ВАД-1Ф по технической документации, утвержденной в установленном порядке	Т1	Закалка	От 490 до 500	—	Вода, нагретая от 70 до 90 °С <sup>2</sup>		
			Старение	От 185 до 195		От 6 до 12 <sup>1</sup>	Воздух
				Закалка		От 465 до 475	
В95 по ГОСТ 4784-97	Т1	Старение	От 135 до 145	От 15 до 16	Воздух		
			Отжиг	От 115 до 125		От 22 до 27	
				—		От 0,5 до 1,0	
МА2-1 по ГОСТ 14957-76 (в ред. 1983 г.)	—	Отжиг	От 260 до 280	От 2 до 4	В печи до +150 °С, далее на воздухе		
			—	От 0,5 до 1,0			
						Отжиг	От 2 до 4
МА8 по ГОСТ 14957-76 (в ред. 1983 г.)	—	Отжиг	От 320 до 350	От 0,5 до 1,0			
						Отжиг	От 2 до 4

Продолжение табл. 6

Марка стали или сплава	Твердость НКС или состояние материала	Термическая операция	Температура нагрева, °С	Время выдержки, ч	Среда охлаждения
БрАМц-9-2 по ГОСТ 1595-90	-	Отжиг	От 310 до 330	От 1,0 до 1,5	В печи до +150 °С, далее на воздухе
БрАЖ9-4 по ГОСТ 1628-78 (в ред. 1990 г.)	-		От 290 до 310		
БрОФ6,5-0,15, БрОФ7-0,2 по ГОСТ 10025-78 (в ред. 1989 г.) БрКМц3-1 по ГОСТ 1628-78 (в ред. 1990 г.)	-		От 220 до 240		
Л63, Л68, ЛС59-1, ЛЮ62-1 по ГОСТ 931-90	-	Закалка	От 770 до 790	-	Вода
БрБ2 по ГОСТ 18175-78 (в ред. 1988 г.)	От 330 до 395 <sup>а,4</sup>	Старение	От 310 до 320	От 2,5 до 3,5	
БрХО8 <sup>3</sup> , БрХО8-В по технической документации, утвержденной в установленном порядке	-	Отжиг	От 340 до 360	От 6,0 до 7,0	В печи до +150 °С или на воздухе
МНЦ15-20 по ГОСТ 492-73 (в ред. 1988 г.)	-		От 390 до 410		
ВТ1-0, ВТ1-1 по технической документации, утвержденной в установленном порядке	-	Отжиг	От 790 до 810	От 1,0 до 1,5	В печи до +100 °С, в вакууме при <i>p</i> до 133 · 10 <sup>-3</sup> Па, далее на воздухе или воздух
			От 670 до 700		
			От 520 до 540		
ВТ5, ВТ5-1 по технической документации, утвержденной в установленном порядке	-	Отжиг	От 740 до 760	От 1,0 до 1,5	

Продолжение табл. 6

Марка стали или сплава	Твердость HRC или состояние материала	Термическая операция	Температура нагрева, °С	Время выдержки, ч	Среда охлаждения
ВТ6 по технической документации, утвержденной в установленном порядке	—	Для поковок и штампованных заготовок	От 740 до 760	От 1,0 до 1,5	В печи до +100 °С, в вакууме при $p$ до $133 \cdot 10^{-3}$ Па, далее на воздухе или воздухе
			От 790 до 810		
ВТ8 по технической документации, утвержденной в установленном порядке	—	Отжиг	От 740 до 760	От 2 до 3	Воздух
			1-я ступень от 870 до 890		
			2-я ступень от 580 до 600		
08пс; 10 по ГОСТ 1050-88 (в ред. 1992 г.)	—	Отжиг	От 650 до 700	От 2 до 3	Воздух
			От 860 до 880		
			От 600 до 640		
35 по ГОСТ 1050-88 (в ред. 1992 г.)	—	Нормализация	От 840 до 860	—	Вода, расплав серы или щелочи с температурой от +100 до +150 °С
		Высокий отпуск	От 450 до 500		
		Закалка	От 840 до 870		
35Ш по технической документации, утвержденной в установленном порядке	28...34	Высокий отпуск	От 600 до 640	От 2 до 3	Воздух
			От 830 до 850		
			От 500 до 520		
45 по ГОСТ 1050-88 (в ред. 1992 г.)	28...34	Закалка	От 490 до 510	От 1,5 до 2,0	Воздух
		Высокий отпуск	От 500 до 520		
		Высокий отпуск	От 490 до 510		
45 по ГОСТ 1050-88 (в ред. 1992 г.)	46,5...51,5 37...42	Отжиг	От 490 до 510	От 4 до 5	Воздух
			Отжиг		

Продолжение табл. 6

Марка стали или сплава	Твердость HRC или состояние материала	Термическая операция	Температура нагрева, °С	Время выдержки, ч	Среда охлаждения
50 по ГОСТ 1050-88 (в ред. 1992 г.)	28...34	Закалка	От 820 до 840	—	Масло
		Высокий отпуск	От 500 до 550	От 1,5 до 2,0	Воздух
40X по ГОСТ 4543-71 (в ред. 1990 г.)	28...34 42...46,5 49,5...53,5 53,5...56,5	Отжиг	От 490 до 510	От 4 до 5	Масло
		Закалка	От 845 до 875	—	
		Отпуск	От 550 до 600	От 1,5 до 2,0	
		Отжиг	От 490 до 510	От 4 до 5	Воздух
			От 770 до 790	—	Масло
25XГСА по ГОСТ 4543-71 (в ред. 1990 г.)	26...30	Закалка	От 890 до 910	—	Масло
		Высокий отпуск	От 540 до 590	От 1,5 до 2,0	Воздух или масло
		Отжиг	От 490 до 510	От 4 до 5	Воздух
30XГСА по ГОСТ 4543-71 (в ред. 1990 г.)	26...30	Закалка	От 890 до 910	—	Масло
		Высокий отпуск	От 620 до 640	От 1,5 до 2,0	Воздух или масло
		Отжиг	От 490 до 510	От 4 до 5	Воздух
40XH2CBA по технической документации, утвержденной в установленном порядке	— 51,5...56,5	Закалка	От 490 до 510	—	Воздух
		Отжиг	От 600 до 650	От 4 до 5	
		Отжиг	От 490 до 510	От 4 до 5	
		Отжиг	От 680 до 700	От 4 до 5	
20X13 по ГОСТ 5632-72 (в ред. 1989 г.)	28...34	Закалка	От 980 до 1020	—	Воздух или масло
		Высокий отпуск	От 550 до 600	От 1,5 до 2,0	Воздух
		Отжиг	От 490 до 510	От 4 до 5	Воздух

Окончание табл. 6

Марка стали или сплава	Твердость HRC или состояние материала	Термическая операция	Температура нагрева, °С	Время выдержки, ч	Среда охлаждения
40X13, 25X13H2 (ЭИ4474) по ГОСТ 5632-72 (в ред. 1989 г.)	—	Отжиг	От 680 до 700	От 4 до 5	Воздух
	28...34	Закалка	От 1030 до 1070		Воздух или масло
	46,5...53,5	Высокий отпуск	От 610 до 640	От 1,5 до 2,0	Воздух
		Отжиг	От 490 до 510	От 4 до 5	
36НХ10Ю по ГОСТ 10994-74 (в ред. 1990 г.)	24,5...32	Закалка	От 920 до 940	—	Вода
	34...42	Старение	От 850 до 870	От 2 до 4	Воздух
		Закалка	От 920 до 940	—	Вода
	345...460*4 для деталей из проволочки и се-ребрянки	—	—	—	—
17X18H9, 12X18H10Г по ГОСТ 5632-72 (в ред. 1989 г.), X16H25M6AG (ЭИ395), 0X20H4AG10*5, 0X20H4AG10Ш по технической документации, утвержденной в установленном порядке	—	Закалка	От 1050 до 1100	—	Вода

\*1 Время выдержки назначается для деталей 1 и 2-й категорий точности по нижнему пределу, для деталей 3-й категории — по верхнему.

\*2 Для плоских деталей толщиной до 12 мм охлаждение при закалке допускается проводить между стальными плитами. Допускается охлаждение при закалке в жидком азоте. Допускается заменять старение по режиму 2 закалкой с охлаждением между плитами и старением по режиму 1. Детали 1-й категории допускаются охлаждать в воде с нормальной температурой.

\*3 Для получения оптимальных механических свойств и размерной стабильности при изготовлении заготовок следует применять режим термомеханической обработки: закалка с 960...980 °С в воде с последующей холодной деформацией на 75...85 %.

\*4 Твердость указана по НУ.

\*5 Детали из сталей 0X20H4AG10 и 0X20H4AG10Ш, подвергаемые развальцовке, перед окончательной механической обработкой необходимо отжечь при температуре 1050...1100 °С 15...20 мин в вакууме (вместо стабилизирующего отжига по режиму 2).

7. Режимы термической обработки деталей из деформируемых сплавов (режимы 2 и 3)

Марка стали или сплава	Твердость HRC или состояние материала	Режим 2				Режим 3			Среды охлаждения		
		Термическая операция	Температура нагрева, °С	Время выдержки, ч	Среды охлаждения	Термическая операция	Температура нагрева, °С	Время выдержки, ч			
САС-1 по технической документации, утвержденной в установленном порядке	—	Для деталей 3-й категории точности									
		ТЦО повторить	От -50 до -100	От 0,5 до 1,0	Воздух или жидкость	Термическая операция	Температура нагрева, °С	Время выдержки, ч	Среды охлаждения		
										Охлаждение	От 0,5 до 1,0
		последовательное 3 раза	Нагрев	От 170 до 190	От 1 до 2	Воздух или жидкость. При третьем цикле - воздух	Термическая операция	Температура нагрева, °С	Время выдержки, ч	Среды охлаждения	
Нагрев	От 1 до 2	Воздух или жидкость. При третьем цикле - воздух									
Для деталей 1-й и 2-й категорий точности								Стабилизирующее старение	От 115 до 125	От 4 до 6	Воздух
Отжиг	От 270 до 290	От 4 до 6	В печи до +150 °С или воздух								
АМГ2, АМГ3, АМГ6 по ГОСТ 4784-97	—	Отжиг	От 95 до 105	От 4 до 6	Воздух	Термическая операция	Температура нагрева, °С	Время выдержки, ч	Среды охлаждения		
		Стабилизирующее старение	От 230 до 250	От 2 до 4	В печи до +150 °С или воздух	От 95 до 105	От 8 до 10	Воздух			
Д1, Д16 по ГОСТ 4784-97; ВАДЦФ по технической документации, утвержденной в установленном порядке	М	Стабилизирующее старение	От 185 до 195	От 5 до 6	Воздух	Термическая операция	Температура нагрева, °С	Время выдержки, ч	Среды охлаждения		
										От 190 до 200	От 6 до 8



Продолжение табл. 7

Марка стали или сплава	Твердость HRC или состояние материала	Режим 2				Режим 3			
		Термическая операция	Температура нагрева, °С	Время выдержки, ч	Среда охлаждения	Термическая операция	Температура нагрева, °С	Время выдержки, ч	Среда охлаждения
Л63, Л68, ЛС59-1, ЛЮ62-1 по ГОСТ 931-90	-		От 180 до 200	От 1,0 до 1,5	Воздух		От 130 до 150		
БрЕ2 по ГОСТ 18175-78 (в ред. 1988 г.)	От 330 <sup>н1</sup> до 395		От 190 до 210	От 1,5 до 2,5		Стабилизирующее старение	От 110 до 130	От 4 до 6	Воздух
БрХ08, БрХ08-В по технической документации, утвержденной в установленном порядке			От 340 до 360	От 3,0 до 4,0	В печи до +100 °С, далее на воздухе			От 130 до 150	
МНЦ15-20 по ГОСТ 492-73 (в ред. 1989 г.)		Отжиг	От 390 до 410						
ВТ1-0, ВТ1-1 по технической документации, утвержденной в установленном порядке	-		От 400 до 510	От 1,0 до 1,5	В печи до +100 °С, в вакууме при <i>p</i> до 133 · 10 <sup>-3</sup> Па, далее на воздухе	Охлаждение	-50	От 0,5 до 1,0	Воздух или жидкость, при третьем цикле - воздух
ВТ5, ВТ5-1 по технической документации, утвержденной в установленном порядке			От 590 до 610			ТЦО повторить последовательно 3 раза	100	От 1 до 2	
			От 590 до 610				-50	От 0,5 до 1,0	



Марка стали или сплава	Твердость НРС или состояние материала	Режим 2				Режим 3											
		Термическая операция	Температура нагрева, °С	Время выдержки, ч	Среда охлаждения	Термическая операция	Температура нагрева, °С	Время выдержки, ч	Среда охлаждения								
ВТ6 по технической документации, установленной в установленном порядке	-	Отжиг	От 540 до 560	От 1,0 до 1,5	В печи до +100 °С, в вакууме при $p$ до $133 \cdot 10^{-3}$ Па, далее на воздухе	ТЦО повторить 3 раза	100	От 1 до 2	Воздух или жидкость, при третьем цикле – воздух								
ВТ8 по технической документации, установленной в установленном порядке	-	Отжиг	От 400 до 450	От 4 до 5	В печи до +150 °С, далее на воздухе	Стабилизирующее старение	От 160 до 170	От 8 до 10	Воздух								
45 по ГОСТ 1050-88 (в ред. 1992 г.)	28...34	Отжиг	От 400 до 450	От 4 до 5	В печи до +150 °С, далее на воздухе	Стабилизирующее старение	От 160 до 170	От 8 до 10	Воздух								
										Закалка	От 830 до 850	-	Вода или масло				
														Отпуск	От 200 до 250	От 3 до 5	Воздух
Отпуск	От 400 до 450	От 2 до 3	Воздух														
35Ш по технической документации, установленной в установленном порядке	28...34	Отжиг	От 400 до 450	От 4 до 5	В печи до +150 °С, далее на воздухе	Стабилизирующее старение	От 160 до 170	От 8 до 10	Воздух								
										Закалка	От 830 до 850	-	Вода или масло				
														Отпуск	От 200 до 250	От 3 до 5	Воздух
Отпуск	От 400 до 450	От 2 до 3	Воздух														
35 по ГОСТ 1050-88 (в ред. 1992 г.)	28...34	Отжиг	От 400 до 450	От 4 до 5	В печи до +150 °С, далее на воздухе	Стабилизирующее старение	От 160 до 170	От 8 до 10	Воздух								
										Закалка	От 830 до 850	-	Вода или масло				
														Отпуск	От 200 до 250	От 3 до 5	Воздух
Отпуск	От 400 до 450	От 2 до 3	Воздух														
35Ш по технической документации, установленной в установленном порядке	28...34	Отжиг	От 400 до 450	От 4 до 5	В печи до +150 °С, далее на воздухе	Стабилизирующее старение	От 160 до 170	От 8 до 10	Воздух								
										Закалка	От 830 до 850	-	Вода или масло				
														Отпуск	От 200 до 250	От 3 до 5	Воздух
Отпуск	От 400 до 450	От 2 до 3	Воздух														
45 по ГОСТ 1050-88 (в ред. 1992 г.)	37...42	Отжиг	От 400 до 450	От 2 до 3	В печи до +150 °С, далее на воздухе	Стабилизирующее старение	От 160 до 170	От 8 до 10	Воздух								
										Закалка	От 830 до 850	-	Вода или масло				
														Отпуск	От 200 до 250	От 3 до 5	Воздух
Отпуск	От 400 до 450	От 2 до 3	Воздух														

Продолжение табл. 7

Марка стали или сплава	Твердость HRC или состояние материала	Режим 2				Режим 3			
		Термическая операция	Температура нагрева, °С	Время выдержки, ч	Среда охлаждения	Термическая операция	Температура нагрева, °С	Время выдержки, ч	Среда охлаждения
50 по ГОСТ 1050-88 (в ред. 1992 г.)	28...34	Отжиг	От 400 до 450	От 4 до 5	В печи до +150 °С, далее на воздухе				Воздух
	28...34	Закалка	От 845 до 875	—	Масло				
	42...46,5	Отпуск	От 400 до 450	От 2 до 3	Воздух				
	49,5...53,5	Закалка	От 845 до 875	—	Масло				
40X по ГОСТ 4543-71 (в ред. 1990 г.)	53,5...56,5	Отпуск	От 180 до 200	От 3 до 5	Воздух	Стабилизирующее старение	От 160 до 170	От 8 до 10	Воздух
	53,5...56,5	Закалка	От 845 до 875	—	Масло				
	—	Отпуск	От 160 до 180	От 3 до 5	Воздух				
	26...30	Отжиг	От 490 до 510	От 4 до 5	В печи до +150 °С, далее на воздухе				
25ХГСА по ГОСТ 4543-71 (в ред. 1990 г.)	37...42	Закалка	От 890 до 910	—	Масло				
	37...42	Отпуск	От 420 до 460	От 2 до 3	Воздух или масло				
	26...30	Отжиг	От 490 до 510	От 4 до 5	В печи до +150 °С, далее на воздухе				
30ХГСА по ГОСТ 4543-71 (в ред. 1990 г.)	37...42	Закалка	От 890 до 910	—	Масло				
	37...42	Высокий отпуск	От 470 до 500	От 2 до 3	Воздух или масло				

Продолжение табл. 7

Марка стали или сплава	Твердость НРС или состояние материала	Режим 2				Режим 3			
		Термическая операция	Температура нагрева, °С	Время выдержки, ч	Среда охлаждения	Термическая операция	Температура нагрева, °С	Время выдержки, ч	Среда охлаждения
40ХН2СВА по технической документации, утвержденной в установленном порядке	—	Отжиг	От 200 до 250	От 4 до 5	В печи до +150 °С, далее на воздухе				Воздух
		Закалка	От 890 до 910	—	Масло				
		Обработка холодом	От -50 до -70	От 1 до 2	Жидкость				
20Х13 по ГОСТ 5632-72 (в ред. 1989 г.)	28...34	Отпуск	От 260 до 280	От 3 до 5	Воздух	Стабилизированное старение	От 160 до 170	От 8 до 10	Воздух
		Отжиг	От 330 до 370	От 8 до 10	В печи до +150 °С, далее на воздухе				
40Х13 по ГОСТ 5632-72 (в ред. 1989 г.)	40...46,5	Закалка	От 980 до 1020	—	Масло, аргон или воздух				
		Отпуск	От 240 до 260	От 3 до 5	Воздух				
25Х13Н2 (ЭИ474) по ГОСТ 5632-72 (в ред. 1989 г.)	28...34	Отжиг	От 330 до 370	От 8 до 10	В печи до +150 °С, давление на воздухе				
		Закалка	От 1030 до 1070	—	Масло, аргон или воздух				
40Х13, 25Х13Н2 (ЭИ474) по ГОСТ 5632-72 (в ред. 1989 г.)	46,5... 53,5	Отпуск	От 350 до 400	От 3 до 5	Воздух				

Окончание табл. 7

Марка стали или сплава	Твердость НРС или состояние материала	Режим 2				Режим 3			
		Термическая операция	Температура нагрева, °С	Время выдержки, ч	Среда охлаждения	Термическая операция	Температура нагрева, °С	Время выдержки, ч	Среда охлаждения
36НХ1Ю по ГОСТ 10994-74 (в ред. 1990 г.)	24,5...32	Отжиг	От 330 до 370	От 8 до 10	В печи до +150 °С, далее на воздухе	Стабилизирующее старение	От 160 до 170	От 8 до 10	Воздух
	34...42	Старение	От 730 до 740	От 3 до 5					
	345 <sup>*1</sup> , 460 для деталей из проволоки и секрелянки								
17Х118Н9, 12Х18Н10Г по ГОСТ 5632-72 (в ред. 1989 г.), Х16Н25М6АГ (ЭИ395), 0Х20НЧ4Г10 <sup>*2</sup> , 0Х20НЧ4Г10Ш	—	Отжиг	От 330 до 370	От 8 до 10					

\*1 Твердость указана по НУ.

\*2 Детали из сталей 0Х20НЧ4Г10 и 0Х20НЧ4Г10Ш, подверженные развальцовке, перед окончательной механической обработкой необходимо отжечь при температуре 1050...1100 °С 15...20 мин в вакууме (вместо стабилизирующего отжига по режиму 2).

## Глава 3

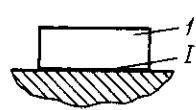
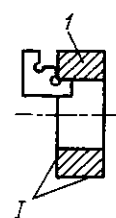
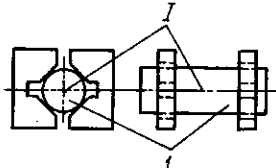
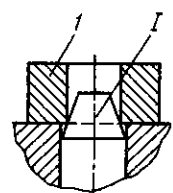
# ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ УСТАНОВКИ ЗАГОТОВОК НА СТАНКАХ

### БАЗИРОВАНИЕ ЗАГОТОВОК

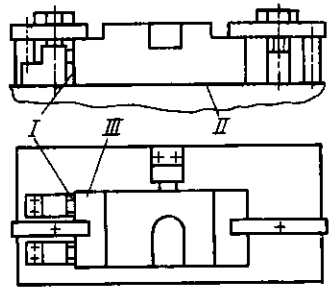
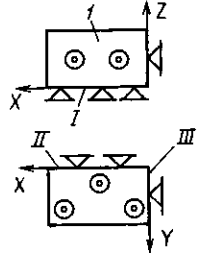
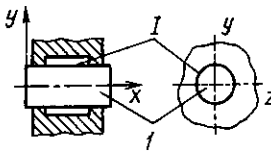
Процесс базирования и закрепления называют установкой (табл. 1 – 3, рис. 1 – 3).

Для установки заготовок на металлорежущие станки используют станочные приспособления (СП).

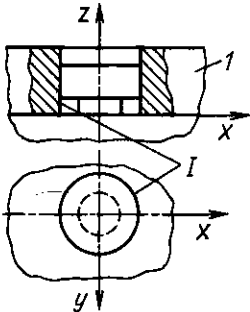
#### 1. Базы, базирование, закрепление заготовок. Термины и определения основных понятий

Термин и определение	Пример
1. Базирование – придание заготовке требуемого положения относительно выбранной системы координат	—
2. База – поверхность или выполняющие ту же функцию сочетание поверхностей, ось, точка, принадлежащие заготовке и используемые для базирования	<p style="text-align: center;"><b>База</b></p> <p><b>Поверхность</b></p>  <p><b>Сочетание поверхностей</b></p>  <p><b>Ось</b></p>  <p><b>Точка</b></p>  <p><i>I</i> – заготовка; <i>I</i> – база</p>

Продолжение табл. 1

Термин и определение	Пример
<p>3. Комплект баз – совокупность трех баз, образующих систему координат заготовки</p>	<p>Комплект баз I, II, III</p> 
<p>4. Технологическая база – база, используемая для определения положения заготовки в процессе ее обработки</p>	<p>—</p>
<p>5. Установочная база – база, лишаящая заготовку трех степеней свободы: перемещения вдоль одной координатной и поворота вокруг двух других осей</p>	 <p>Установочная база I лишает заготовку I перемещения вдоль оси Z, поворотов вокруг осей X и Y</p>
<p>6. Направляющая база – база, лишаящая заготовку двух степеней свободы: перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой оси</p>	<p>Направляющая база II лишает заготовку I перемещения вдоль оси Y и поворота вокруг оси Z</p>
<p>7. Опорная база – база, лишаящая заготовку одной степени свободы: перемещения вдоль одной координатной оси или поворота вокруг этой оси</p>	<p>Опорная база III лишает заготовку I перемещения вдоль оси X</p>
<p>8. Двойная направляющая база – база, лишаящая заготовку четырех степеней свободы: перемещений вдоль двух координатных осей и поворотов вокруг этих осей</p>	 <p>Двойная направляющая база I лишает заготовку I перемещений вдоль осей Y и Z и поворотов вокруг этих осей</p>

Окончание табл. 1

Термин и определение	Пример
9. Двойная опорная база – база, лишаящая заготовку двух степеней свободы: перемещений вдоль двух координатных осей	 <p data-bbox="629 527 1072 584">Двойная опорная база I лишает заготовку I перемещений вдоль осей X и Y</p>
10. Закрепление – приложение сил и пар сил к заготовке для обеспечения постоянства ее положения, достигнутого при базировании	–
11. Конструкторская база – база, используемая для определения положения детали или сборочной единицы в изделии	–
12. Измерительная база – база, используемая для определения положения заготовки, детали или изделия и средств измерения	–

Примечание. Подробнее см. ГОСТ 21495–76 (в ред. 1982 г.)

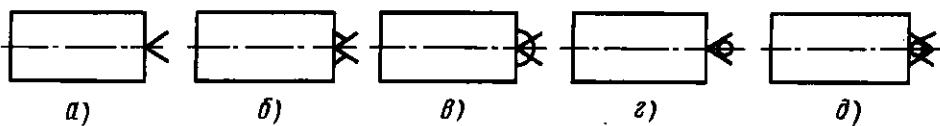


Рис. 1. Примеры обозначений центров:

a – неподвижного гладкого; б – рифленого; в – плавающего; г – вращающегося;  
 д – обратного рифленого вращающегося

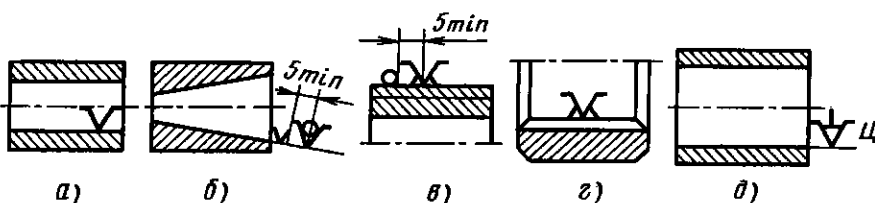


Рис. 2. Примеры обозначений оправок:

a – цилиндрической; б – конической роликовой; в – резьбовой; г – шлицевой; д – цапговой

2. Графические обозначения опор, зажимов, установочных устройств СП

Наименование	Обозначение на видах			Обозначение на видах	
	спереди, сзади	сверху	снизу	наименование	спереди, сзади
Опора: неподвижная				Установочное устройство: центр неподвижный	
подвижная				центр вращающийся	
плавающая				центр плавающий	
регулируемая				Оправка: цилиндрическая	
Зажим: одиночный				шариковая (роликовая)	
двойной				Патрон поводковый	
		упрощенное 			

Примечания: 1. Подробнее см. ГОСТ 3.1107-81.

2. Длина *t* плеча зависит от расстояния между точками приложения сил.

3. Обозначения опор и установочных устройств, кроме центров, допускается наносить на выносных линиях соответствующих поверхностей (см. рис. 2, б и д).

4. Несколько обозначений одноименных опор на каждом виде допускается заменять одним с указанием справа их числа (см. рис. 3, б и в).

3. Графические обозначения формы рабочей поверхности опор, зажимов, установочных устройств СП

Поверхность	Плоская	Сферическая	Цилиндрическая	Коническая	Призматическая	Ромбическая	Трехгранная
Обозначение на всех видах							

Приводы обозначают: Р – пневматический; Н – гидравлический; Е – электрический; М – магнитный; ЕМ – электромагнитный (прочие – без обозначения). Обозначения приводов наносят

слева от обозначения зажимов (см. рис. 3, а, б).

Примеры схем установки заготовки и соответствующих конструкторских схем СП даны в табл. 4.



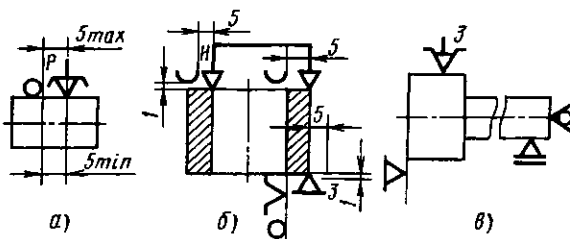


Рис. 3. Примеры обозначений зажимов:

*а* – пневматического с цилиндрической рифленной рабочей поверхностью; *б* – в кондукторе с центрированием на цилиндрический палец, с упором на три неподвижные опоры, с применением двойного гидравлического зажима со сферическими рабочими поверхностями; *в* – в трехкулачковом патроне с ручным зажимом, с упором в торец, с поджимом вращающимся центром и с креплением в подвижном люнете

#### 4. Примеры схем установки заготовки и их реализации в конструкциях СП

Схема установки заготовки	Конструкторская схема СП
	<p><i>В кондукторе</i></p>
	<p><i>В призмах</i></p>

При базировании заготовки кольца поверхностями внутренней цилиндрической и плоской торцевой с использованием трехкулачкового патрона заготовка лишается 5 степеней свободы, для чего нужны 5 основных опор. В силу симметрии заготовки шестая степень свободы, а именно возможность поворота вокруг оси симметрии, за заготовкой сохраняется. Однако после закрепления заготовка лишается шестой степени свободы. В данном случае роль шестой основной опоры выполняют силы трения между кулачками патрона и технологическими базами заготовки.

В целях повышения точности обработки целесообразно совмещать технологические базы с конструкторскими, соблюдать принцип постоянства технологических баз. Для полной ориентации в пространстве заготовку лишают всех шести степеней свободы, для чего используют шесть основных опор. В этом случае порядок выбора технологических баз и основных опор следующий: назначают комплект баз, выбирая из него установочную или двойную направляющую базы, лишают заготовку наибольшего числа степеней свободы, и определяют число, вид, расположение соответствующих основных опор. Выбирают направляющую, двойную опорную или опорию базы и определяют число, вид, расположение других основных опор, причем последние не должны дублировать назначение ранее выбранных опор. При частичной ориентации заготовки в пространстве число основных опор равно числу устраняемых степеней свободы.

Для повышения жесткости и виброустойчивости помимо основных используют вспомогательные опоры, число которых должно быть возможно меньшим. Основные опоры бывают неподвижными, подвижными, плавающими, регулируемыми, а вспомогательные – подвижными, плавающими, регулируемыми (неподвижные опоры также называют постоянными, а подвижные и плавающие – самоустанавливающимися).

## СХЕМЫ УСТАНОВКИ ЗАГОТОВОК И ОПОРЫ СП

Схему установки заготовки выбирают с учетом ее конструкции и состояния технологических баз, используемых разновидностей обработки резанием и модели оснащаемого станка, требований к точности<sup>1</sup> и производительности обработки, техники безопасности.

При обработке корпусов, плит, рам наиболее часто применяют установку: плоскими поверхностями (табл. 5, рис. 4 – б); двумя цилиндрическими отверстиями с параллель-

ными осями и перпендикулярной к ним плоской поверхностью, если высота заготовки много меньше размеров в плане (рис. 7, а); тремя цилиндрическими отверстиями с параллельными осями и перпендикулярной к ним плоской поверхностью, если обработка ведется на автоматической линии (рис. 7, б). Обычно заготовку доводят до соприкосновения с опорами вручную; при использовании автоматизированных и автоматических СП могут применяться досылатели, а для контроля правильного положения заготовки – датчики, световые устройства. Для повышения износостойкости опоры изготавливают из сталей 20, 20Х (глубина цементированного слоя 0,8...1,2 мм), У7А, У8А, 45; 56...61 HRC, а в ответственных случаях хромируют или наплавляют твердым сплавом; рабочие поверхности шлифуют  $Ra = 0,2...0,4$  мкм.

Для повышения жесткости опоры устанавливают в корпус СП с гарантированным натягом или завинчивают. Качество сопрягаемых поверхностей корпуса СП и опор повышают шлифованием или шабрением. В целях обеспечения ремонтопригодности применяют легкосменные опоры (см. рис. 4).

Точность установки заготовки на цилиндрический и срезанный пальцы оценивают углом поворота от среднего положения

$$\alpha \approx \arcsin [(\Delta_{\text{ц}} + \Delta_{\text{с}} + \delta_{\text{о.ц}} + \delta_{\text{о.с}} + \delta_{\text{п.ц}} + \delta_{\text{п.с}} + \delta_{\text{и.ц}} + \delta_{\text{и.с}})] / (2 \cdot L), \quad (1)$$

где  $\Delta_{\text{ц}}$  и  $\Delta_{\text{с}}$  – гарантированные диаметральные зазоры соответственно между отверстием под цилиндрический палец и цилиндрическим пальцем и отверстием под срезанный палец и срезанным пальцем;  $\delta_{\text{о.ц}}$  и  $\delta_{\text{о.с}}$  – допуски диаметральных размеров отверстий соответственно под цилиндрический и срезанный пальцы;  $\delta_{\text{п.ц}}$  и  $\delta_{\text{п.с}}$  – допуски наружных диаметров  $D_{\text{п.ц}}$  и  $D_{\text{п.с}}$  соответственно рабочих шеек цилиндрического и срезанного пальцев;  $\delta_{\text{и.ц}}$  и  $\delta_{\text{и.с}}$  – допуски на износ рабочих шеек соответственно цилиндрического и срезанного пальцев;  $L$  – расстояние между осями цилиндрического и срезанного пальцев.

<sup>1</sup> Погрешность установки и ее составляющие см. с. 168 – 180.



Окончание табл. 5

Заготовки	Опоры		Пределная нагрузка на одну опору
	Тип	ГОСТ	
Обработанными (параметр шероховатости $R_a \leq 3,2$ мкм)	Плоской	13440-68 (в ред. 1990 г.)	40 МПа
	Шайба опорная	17778-72 (в ред. 1990 г.)	
Средние и крупные с базами обработанными	Пластинки опорные	4743-68 (в ред. 1990 г.)	40 МПа

Примечания: 1. Опоры с головками также называют опорными штырями.

2. Указаны предельные нагрузки на одну опору при установке стальных и чугунных заготовок; при установке заготовок из цветных металлов и сплавов предельная нагрузка на одну опору на  $1/3$  меньше.

3. Опорные пластинки исполнения 1 служат боковыми и верхними опорами.

4. Для повышения точности установки заготовок целесообразно шлифовать развитые опоры в сборе с корпусом СП; припуск на шлифование 0,2...0,3 мм.

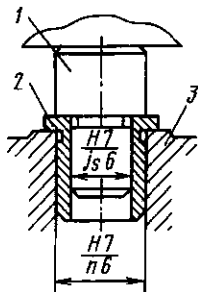


Рис. 4. Установка опоры 1 в корпус 3 СП через переходную втулку 2

Для уменьшения угла  $\alpha$  пальцы устанавливают на возможно большем расстоянии  $L$ , причем малая ось срезанного пальца должна лежать на прямой, соединяющей центры пальцев (рис. 7, а).

При использовании трех срезанных установочных пальцев (рис. 7, б) уменьшаются угол  $\alpha$  поворота заготовки и вероятность ее заклинивания при съеме. Однако из-за быстрого изнашивания пальцев меньше точностная надежность такой установки. Цилиндрические отверстия заготовки под установочные пальцы

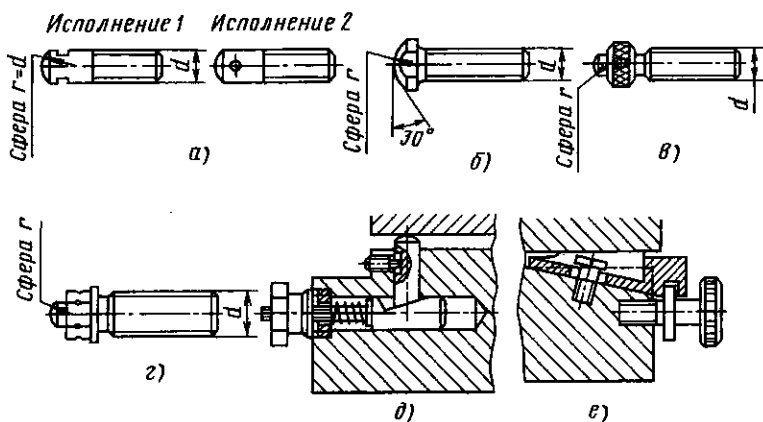


Рис. 5. Регулируемые опоры:

- а – винтовая ГОСТ 4084–68 (в ред. 1990 г.) ( $r = 6...42$  мм;  $d = M6...M42$ );  
 б – винтовая с шестигранной головкой ГОСТ 4085–68 (в ред. 1990 г.) ( $r = 5...16$  мм;  $d = M6...M42$ );  
 в – винтовая с круглой головкой ГОСТ 4086–68 (в ред. 1990 г.) ( $r = 6...30$  мм;  $d = M6...M30$ );  
 г – винтовая усиленная ГОСТ 4740–68 (в ред. 1990 г.) ( $r = 10...30$  мм;  $d = Tr16 \times 4 LH...Tr50 \times 8 LH$ );  
 д – плунжерная; е – клиновная

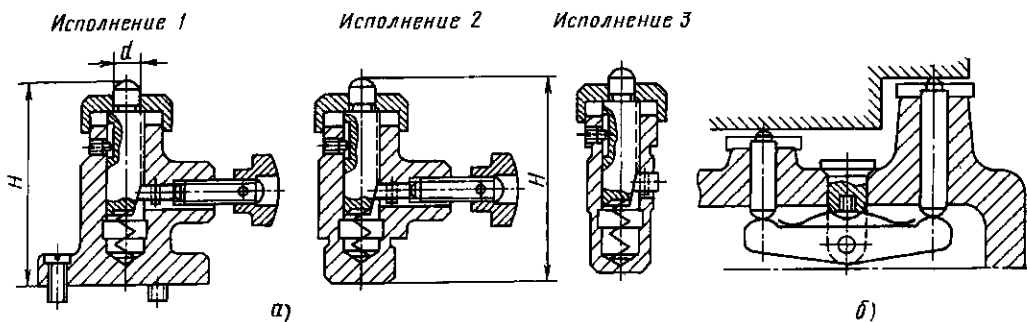


Рис. 6. Самоустанавливающиеся опоры:

- а – ГОСТ 13159–67 (в ред. 1989 г.) ( $d = 10...18$  мм;  $H = 72...130$  мм);  
 б – рычажно-плунжерная

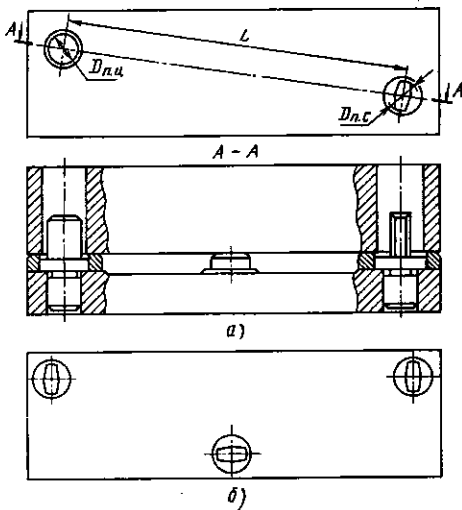


Рис. 7. Примеры установки заготовки цилиндрическими отверстиями с параллельными осями и перпендикулярной к ним плоской поверхностью с применением установочных пальцев: а – цилиндрического и срезанного; б – трех срезанных

обрабатывают по 7-му качеству, а перпендикулярную к осям этих отверстий плоскую поверхность – с параметром шероховатости  $Ra \leq 3,2$  мкм. (Стандартные опоры, установочные пальцы и другие детали для установки заготовок цилиндрическими отверстиями с параллельными осями и перпендикулярной к ним

плоской поверхностью см. ГОСТ 12209–66 – ГОСТ 12212–66 (все в ред. 1989 г.), ГОСТ 16896–71 (в ред. 1990 г.), ГОСТ 16898–71 – ГОСТ 16901–71 (все в ред. 1990 г.), ГОСТ 17774–72 – ГОСТ 17777–72 (все в ред. 1990 г.). Диапазон диаметров стандартных установочных пальцев составляет 1,6...50 мм).

При обработке валов применяют установочку центровыми отверстиями (ГОСТ 14034–74 (в ред. 1982 г.)) на центры и полуцентры. Так же устанавливают центровые оправки. Различают центры и полуцентры нормальной и повышенной точности; нормальной и усиленной серий; вращающиеся (применяют при частоте вращения заготовки более 12 рад/с); упорные (частота вращения заготовки не более 12 рад/с); упорные с конусностью 1:10 и 1:7 (применяют при работе на тяжелых и средних станках). Стандартные центры и полуцентры см. ГОСТ 2575–79 (в ред. 1992 г.), ГОСТ 2576–79 (в ред. 1992 г.), ГОСТ 8742–75 (в ред. 1983 г.), ГОСТ 13214–79 (в ред. 1992 г.), ГОСТ 13215–79 (в ред. 1992 г.), ГОСТ 18259–72 (в ред. 1986 г.) ГОСТ 18260–72 (в ред. 1986 г.), а некоторые нестандартные – рис. 8.

При обработке колец, втулок, гильз и аналогичных им пустотелых деталей применяют установочку заготовок поверхностями (внутренней вращения и перпендикулярной к ее оси плоской торцовой) на цилиндрические установочные пальцы (рис. 9), на оправки и в патроны<sup>1</sup> (рис. 10, 11, табл. 6).

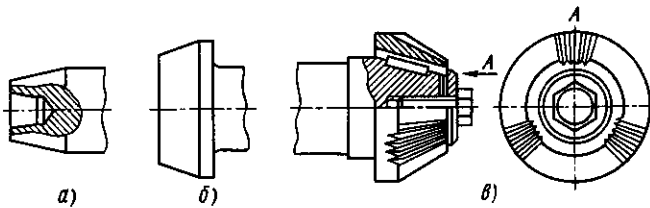


Рис. 8. Нестандартные центры:

а – обратный для установки вала диаметром менее 4 мм наружной конической фаской; б – срезанный для установки пустотелой заготовки внутренней конической фаской; в – поводковый с рифлениями

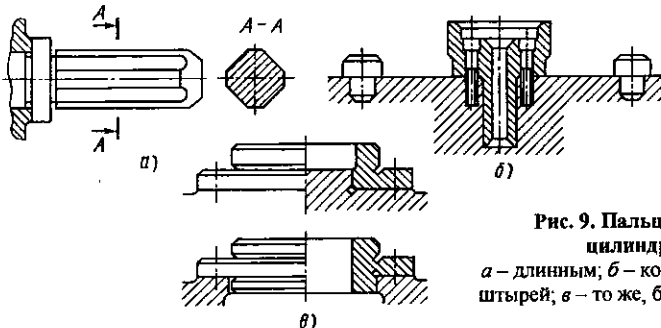


Рис. 9. Пальцы для установки заготовки цилиндрическим отверстием:

а – длинным; б – коротким с использованием опорных штырей; в – то же, без использования опорных штырей

<sup>1</sup> При установке на оправки и в патроны торцев не всегда используют в качестве технологической базы.

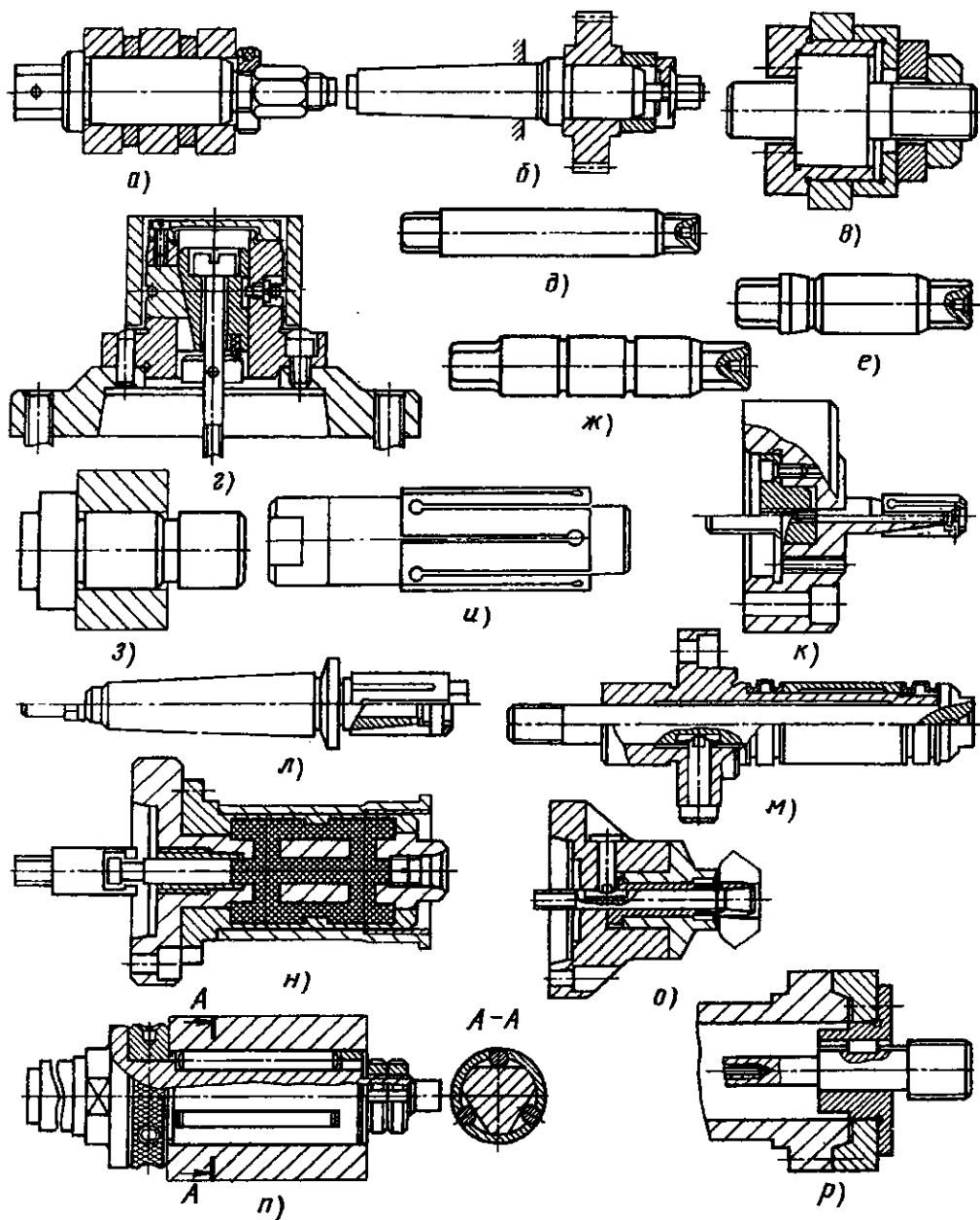


Рис. 10. Оправки:

*а* – цилиндрическая центровая с буртиком; *б* – то же, шпindelная; *в* – то же, центровая со сменными втулками; *г* – кулачковая фланцевая; *д* – коническая; *е* и *ж* – для точных работ, соответственно с одной и тремя ступенями; *з* – прессовая; *и* – с разрезной цапгой центровая, для точных работ по ГОСТ 31.1066.02–85 (в ред. 1991 г.); *к* – то же, фланцевая; *л* – то же, шпindelная; *м* – с гофрированными втулками; *н* – гидропластмассовая; *о* – цапговая; *п* – самозажимная; *р* – для установки резьбовым отверстием

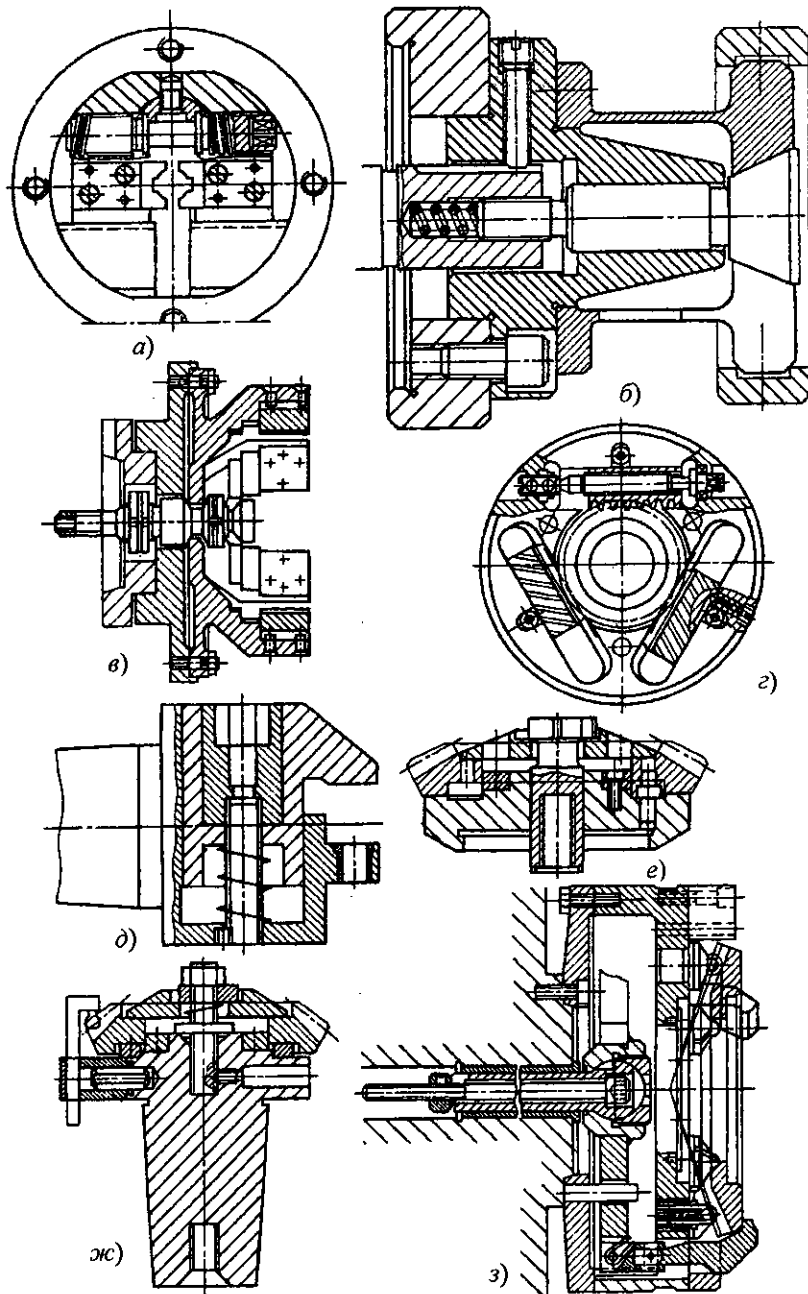


Рис. 11. Патроны:

а – двухкулачковый с боковым винтом; б – цанговый для установки колец подшипников;  
 в – мембранный для установки толстостенных колец; г – трехкулачковый реечный для тяжелых работ;  
 д – переналаживаемый с Г-образным прихватом; е – для предварительного нарезания зубьев зубчатого колеса;  
 ж – то же, окончательного; з – для установки конического зубчатого колеса боковыми поверхностями  
 зубьев и с торцовыми прихватами



6. Распространенные оправки и патроны (размеры, мм)

Наименование	Характеристика устанавливаемых заготовок				Суммарная сила (Н; кН) или давление (МПа) для закрепления заготовок	Формы и расположения обработанных поверхностей в степенях точности, ГОСТ 24643-81		Примечание
	Поверхность вращения, используемая в качестве технологической базы	Осевые размеры		Радиального биения		Торцового биения		
		Форма	Диапазон				Отклонения	
<b>Оправки</b> Цилиндрические для установки заготовок с гарантированным зазором: центровые с буртиком (рис. 10, а) шпиндельные (рис. 10, б)	Ц	28...100	7, 8-го квалитетов	45...155 (не более) 25...125 (не более)	Десятки кило- ньютонов	9 - 16	-	Допускают многоместную обработку, а также быструю переналадку: по длине заготовок с помощью установки промежуточных колец, а по диаметру базы - сменных втулок (рис. 10, в)
						16...100		
Кулачковые: шпиндельные фланцевые (рис. 10, з)	Ц; ПСК	36...90	6 - 16-го квалитетов	До 120	Десятки кило- ньютонов	2	6 - 8	Предпочтительны: число кулачков в одном ряду 6, 8, 10 или 12; прямоугольная форма поперечного сечения кулачков; угол клиновидной пары 8...10°
		80...120		До 140				
конические (рис. 10, д)	Ц	3...100	6 - 9-го квалитетов	4,5...150	Сотни ньютонов	4 - 7	До 0,5 <i>kd</i> , где <i>k</i> - конусность, <i>d</i> - диаметр, на котором определяют биение	Конусность <i>k</i> от 1:500 до 1:40 000. Не обеспечивают точной установки заготовок вдоль оси. Оправки с конусностью <i>k</i> ≤ 1:10 000 используют в качестве контрольных

Продолжение табл. 6

Наименование	Характеристика устанавливаемых заготовок				Суммарная сила (Н, кН) или давление (МПа) для закрепления заготовок	Формы и расположения обработанных поверхностей в степенях точности, ГОСТ 24643-81		Примечание
	Поверхность вращения, используемая в качестве технологической базы		Осевые размеры			Радиального бienia	Торцового бienia	
	Форма	Диаметр	Отклонения	Осевые размеры				
						Диапазон	Отклонения	
Цилиндрические центровые для точных работ: с одной ступенью (рис. 10, е)	Ц	8...80	6, 7-го квалитетов	16...180	Десятки ньютон	2-5		Применяют также в качестве контрольных приспособлений. При использовании ступенчатых оправок необходим селективный подбор заготовок, что увеличивает вспомогательное время
						3...50		
прессовые (рис. 10, з)	Ц	30...60	8, 9-го квалитетов	Короткие	Десятки мега- паскалей	4-6		Применяют для обработки жестких деталей с большими силами резания. Установка и съем деталей требуют специальных прессов, что увеличивает вспомогательное время. Быстро изнашиваются
с разрезной цангой для точных работ ГОСТ 31.1066.02-85 (в ред. 1991 г.): центровые (рис. 10, и)	Ц	16...107,35	Свободные	Длинные, реже короткие	Несколько кило- ньютон	2-7	3-7	Предпочтительны для обработки заготовок, длина которых примерно равна длине разрезной цанги

Продолжение табл. 6

Наименование	Характеристика устанавливаемых заготовок				Суммарная сила (Н; кН) или Давление (МПа) для закрепления заготовок	Формы и расположения обработанных поверхностей в степенях точности, ГОСТ 24643-81		Примечание
	Поверхность вращения, используемая в качестве технологической базы		Осевые размеры			Радиального биения	Торцового биения	
	Форма	Диаметр	Свободные	Длинные, реже короткие				
						Диапазон	Отклонения	
фланцевые (рис. 10, к)	Ц	50...107,35	Свободные	Длинные, реже короткие	Несколько кило-ньютонов	2-7	3-7	Короткие детали устанавливаются посередине цапги
шпindelные (рис. 10, л)	Ц	22...100	6-8-го качества	Длинные и короткие	Сотни ньютонов	2-4	2-5	Могут применяться в перерабатываемом исполнении для точной обработки тонкостенных деталей, см. ГОСТ 31.1066.01-85 (в ред. 1991 г.)
с гофрированными втулками ОСТ 2 П26-1-76 (рис. 10, м)	Ц	28...150	6-9-го качества	Длинные, реже короткие	5...25 МПа	3-6		Могут применяться для точной обработки тонкостенных деталей. Возможны: высушивание гидропластмассы, разрушение тонкостенной оболочки приспособления при разжиме без заготовки. Ремонт затруднен
Гидропластмассовые: оправки (рис. 10, н)  патроны	Ц	10...175	Свободные	Длинные	Десятки кило-ньютонов	9, 10		Патроны с боковым винтом имеют пониженную надежность вследствие быстрого изнашивания винта

Продолжение табл. 6

Наименование	Характеристика устанавливаемых заготовок			Суммарная сила (Н; кН) или давление (МПа) для закрепления заготовок	Формы и расположения обработанных поверхностей в степенях точности, ГОСТ 24643-81		Примечание
	Поверхность вращения, используемая в качестве технологической базы		Осевые размеры		Радиального биения	Торцового биения	
	Форма	Диаметр					
с центральным винтом ГОСТ 14903-69 (в ред. 1989 г.)	Ц; К; ФВ; ПСК	10...175	Свободные	Короткие	9, 10	-	
					Длинные		
Трехлучачковые спирально-рессичные ГОСТ 2675-80 (в ред. 1988 г.) классов точности: нормальной (Н)	Ц	4...170 при установке прутков	Свободные	Короткие и длинные	8 - 10	8, 9	Для оснащения токарных станков нормальной точности
					25...360 при установке штучных заготовок	7 - 10	
повышенной (П)  высокой (В)	Ц	4...85 при установке прутков	Свободные	Короткие и длинные	6 - 9	7, 8	Для оснащения токарных прецизионных и шлифовальных станков
					35...200 при установке штучных заготовок	5 - 8	
особо высокой (А)							

Окончание табл. 6

Наименование	Характеристика устанавливаемых заготовок				Суммарная сила (Н; кН) или давление (МПа) для закрепления заготовок	Формы и расположения обработанных поверхностей в степях точности, ГОСТ 24643-81		Примечание
	Поверхность вращения, используемая в качестве технологической базы		Осевые размеры			Радиального биения	Торцового биения	
	Форма	Диаметр	Свободные	Длинные (при использовании полостного штюка), короткие				
						Диапазон	Отклонения	
Токарные самоцентрирующие ГОСТ 24351-80 (в ред. 1988 г.):  рычажно-клиновые клиновые	Для двухкулачковых: Ц; К; ФВ; ПСК. Для трехкулачковых: Ц	25...400	Свободные	Длинные (при использовании полостного штюка), короткие	40...250 кН	5-10	5-9	Для оснащения вертикальных токарных автоматов и полуавтоматов предпочтительны патроны рычажно-клиновые диаметром до 315 мм, а горизонтальных - клиновые диаметром до 250 мм
Цанговые (ГОСТ 2876-80 и ГОСТ 2877-80 (все в ред. 1992 г.))  мембранные для обработки: цилиндрических зубчатых колес	Ц; К; ФВ; ПСК	3...125	12, 13-го квалитетов	Короткие, реже - длинные	Десятки кило- ньютон	5-10	7-10	Широко применяются различные нестандартные цанговые приспособления (рис. 11, б)
толстостенных втулок и колец (рис. 11, в)	Ц	50...300		Короткие	4...30 кН  6...18 кН			

Примечания: 1. Ц, К, ФВ, ПСК - соответственно поверхности цилиндрическая, коническая, фасонная вращения, пространственно-сложная контурная.

2. Количественные оценки нестандартных СП - приближенные.

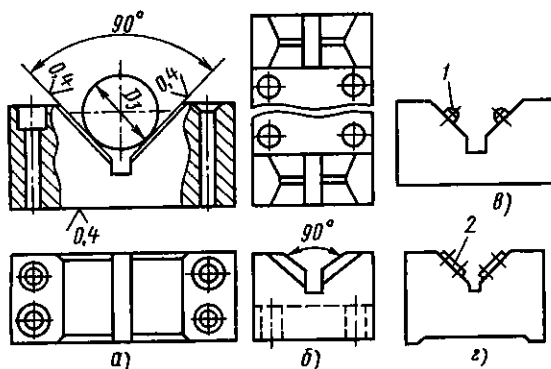


Рис. 12. Призмы:

а – опорная по ГОСТ 12195–66 (в ред. 1989 г.); б – узкая; в – со штырями 1; г – особо крупная чугунная с завинченными стальными термически обработанными пластинами 2

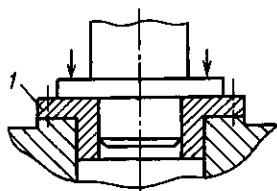


Рис. 13. Схема установки заготовок наружной цилиндрической и плоской торцевой поверхностями во втулку 1

При установке на жесткий палец точность центрирования невелика и составляет  $\Delta \leq \Delta_c + \delta_{o.c} + \delta_{n.c} + \delta_{n.c}$  [обозначения см. формулу (1)].

При обработке деталей типа тел вращения заготовки устанавливают поверхностям (наружной вращения и торцевой) в патроны (табл. 6, рис. 11), призмы (рис. 12), втулки (рис. 13).

Стандартные призмы см. ГОСТ 12193–66... ГОСТ 12197–66 (все в ред. 1989 г.), ГОСТ 16897–71 (в ред. 1990 г.). Предельная нагрузка ( $H$ ) на призму с углом  $90^\circ$  при установке стальных и чугунных заготовок составляет  $Q \approx 7D_3b$ , где  $D_3$  и  $b$  – соответственно диаметр базы заготовки и длина ее контакта с призмой, мм. Диапазон диаметров заготовок, устанавливаемых в стандартные призмы,

$D_3 = 3 \dots 150$  мм. Если технологическая база заготовки обработанная, применяют широкие призмы (рис. 12, а), если необработанная, – то узкие или с запрессованными штырями (рис. 12, б, в). Призмы и втулки изготовляют из стали 20Х с цементацией ответственных поверхностей на глубину 0,8...1,2 мм и твердостью 56 – 61 HRC. Особо крупные призмы делают из чугуна с завинченными стальными закаленными пластинками (рис. 12, г).

При установке во втулку базу заготовки обрабатывают по 7 – 9-у качествентам.

Некоторые распространенные схемы установки заготовок приведены на рис. 14.

## ЗАЖИМНЫЕ МЕХАНИЗМЫ И ПРИВОДЫ СП

Заготовку закрепляют с помощью зажимных механизмов (ЗМ)<sup>1</sup>. Силу закрепления  $P_z$  определяют из условия равновесия заготовки под действием сил резания, реакций в опорах, сил трения по поверхностям контакта заготовки с опорами и ЗМ (табл. 7). При обработке массивных заготовок дополнительно учитывают силы веса, а при обработке с быстрыми перемещениями, резким торможением или реверсом – силы инерции.

<sup>1</sup> Зажимной механизм также называют зажимом.

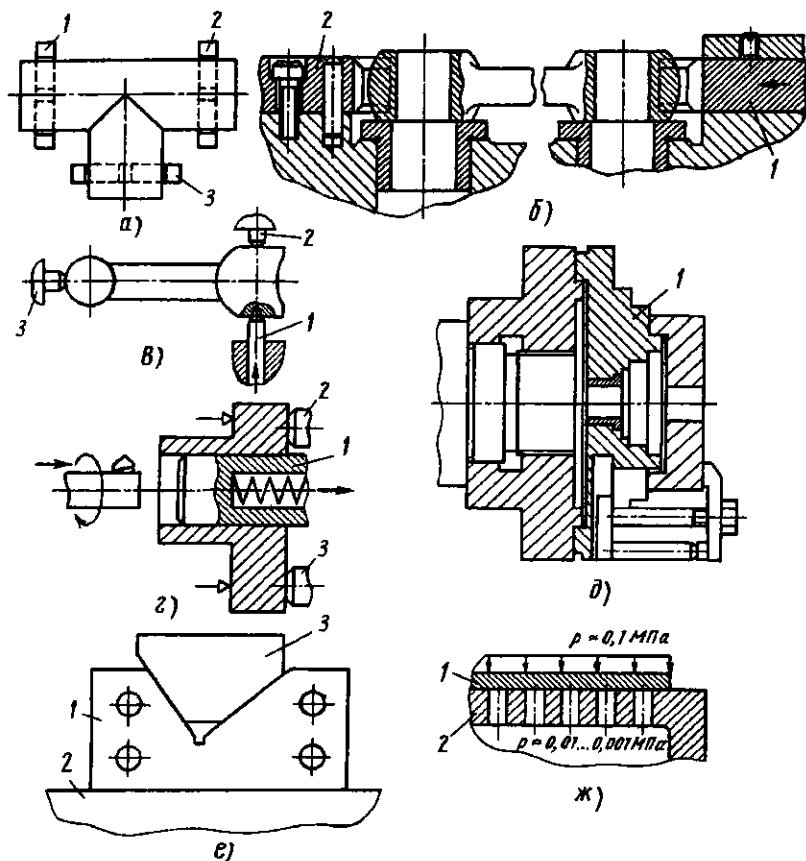


Рис. 14. Схема установки заготовок:

*a* – тройника на три узкие призмы 1, 2 и 3; *б* – шатуна в призмы подвижную 1 ГОСТ 12193–66 (в ред. 1989 г.) и неподвижную 2 ГОСТ 12196–66 (в ред. 1989 г.); *в* – вилки на центры подводимый (1) и два жестких 2 и 3; *г* – обрабатываемым отверстием на подпружиненный палец 1 и плоским торцом на штыри 2 и 3; *д* – на токарную планшайбу 1; *е* – стальной или чугунной заготовки 3 в наставку 1 электромагнитной плиты 2; *ж* – тонкостенной пластины 1 на вакуумную плиту 2

Ниже приведены упрощенные инженерные расчеты распространенных ЗМ<sup>1</sup>.

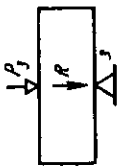


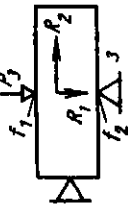
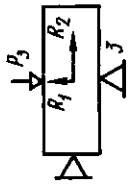
**Винтовые ЗМ.** По заданной силе  $P_z$  определяют номинальный диаметр  $d$  нажимного винта (рис. 15), округляя полученное значение до ближайшего большего стандартного; из условий закрепления деталей определяют форму конца винта (гайки), вычисляют крутящий момент  $M$ , который необходимо приложить к винту (гайке), выбирают стандартный нажимной винт (гайку) (табл. 8). Быстро-

действие винтовых ЗМ повышают применением быстросъемных шайб, откидных планок, байонетных и плунжерных механизмов и др. Винтовые ЗМ – самотормозящие.

**Эксцентрикковые ЗМ** (рис. 16) обычно выполняют с круглым кулачком ГОСТ 9061–68 (в ред. 1990 г.). Если угол поворота кулачка  $\gamma \leq 180^\circ$ , то ход кулачка (мм)  $h \approx 0,4 + 0,5(\Delta + P_z/J)$ , если угол поворота кулачка ограничен ( $\gamma \leq 60^\circ$ ), то  $h \approx (0,3 + \Delta + P_z/J)(1 - \cos\gamma)$ , где  $\Delta$  – отклонение размера закрепляемой заготовки, мм;  $J = 10^3 \dots 2 \cdot 10^3$  Н/мм – жесткость эксцентриккового ЗМ;  $P_z$  – в Н.

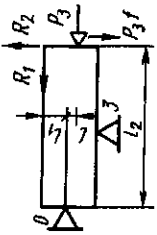
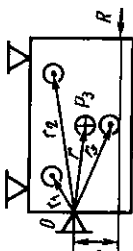
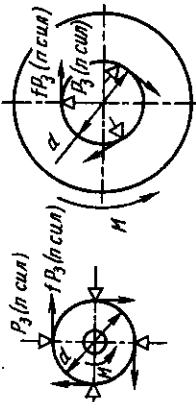
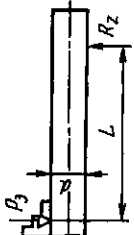
<sup>1</sup> Подробнее см. [3].

7. Расчетные схемы и формулы для определения силы  $P_3$  закрепления заготовок

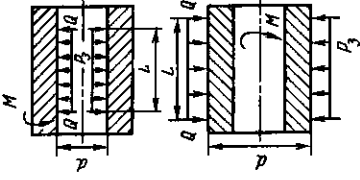
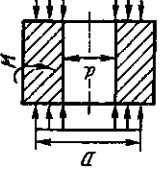
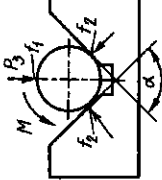
Расчетная схема	Пояснение к схеме	Формула
	<p>Сила резания <math>R</math> прижимает заготовку к опорам (прошивание и протягивание отверстий, цекование бобышек с вертикальной подачей вниз и т.п.)</p>	<p><math>P_3 &gt; 0</math> для предупреждения вибраций, повышения жесткости технологической системы</p>
	<p>Сила резания <math>R</math> стремится оторвать заготовку от опор (цекование внутренних бобышек с вертикальной подачей вверх и т.п.)</p>	<p>Для ЗМ:                      типа I  <math>P_3 = KR</math>,                      типа II  <math>P_3 = 0,7 KR</math></p>
	<p>Сила резания <math>R</math> стремится сдвинуть заготовку в боковом направлении (фрезерование замкнутых контуров), чему препятствуют силы трения между заготовкой, опорами и ЗМ (не показаны)</p>	<p><math>P_3 = KR / (f_1 + f_2)</math></p>
	<p>Составляющая <math>R_1</math> силы резания прижимает заготовку к опорам, а составляющая <math>R_2</math> стремится ее сдвинуть в боковом направлении</p>	<p>Для ЗМ:                      типа I  <math>P_3 = 0,5R_1 + KR_2 / (f_1 + f_2)</math>                      типа II  <math>P_3 = (KR_2 - f_2 R_1) / (f_1 + f_2)</math></p>
	<p>Составляющая <math>R_1</math> силы резания стремится оторвать заготовку от опор, а составляющая <math>R_2</math> — сдвинуть ее в боковом направлении</p>	<p>Для ЗМ:                      типа I  <math>P'_3 = 0,7 KR_1</math>;  <math>P''_3 = [KR_2 + R_1(0,7f_2 - 0,3f_1)] / (f_1 + f_2)</math>                      типа II  <math>P'_3 = KR_1</math>; <math>P''_3 = (KR_2 + f_2 R_1) / (f_1 + f_2)</math>                      Сила закрепления <math>P_3</math> — большее из значений <math>P'_3</math> и <math>P''_3</math></p>



Продолжение табл. 7

Расчетная схема	Пояснение к схеме	Формулы
	<p>Составляющие <math>R_1</math> и <math>R_2</math> силы резания стремятся повернуть заготовку относительно опоры <math>O</math> (против часовой стрелки), чему препятствуют силы <math>P_3</math> и трения <math>P_3 f</math> между ЗМ и заготовкой</p>	$P_3 = K(R_1 l_1 + R_2 l_2) / (l + f l_2)$
	<p>Сила резания <math>R</math> стремится повернуть заготовку, установленную на опорные штыри, по часовой стрелке относительно опоры <math>O</math>, чему препятствуют силы трения между заготовкой, ЗМ и тремя нижними опорными штырями (коэффициенты трения соответственно <math>f</math> и <math>f_1</math>). Силы трения направлены нормальн к радиусам <math>r_1</math> и <math>r_2</math> и создают относительно опоры <math>O</math> моменты, направленные против часовой стрелки (не показано). Значения коэффициентов <math>a</math>, <math>b</math>, <math>c</math> находят из уравнений статки, причем <math>a + b + c = 1</math></p>	$P_3 = KRl / [fr + f_1(ar_1 + br_2 + cr_3)]$ <p>Если сила <math>P_3</math> совпадает с центром тяжести опорного треугольника, то</p> $P_3 = 3KRl / \{3fr + f_1(r_1 + r_2 + r_3)\}$
	<p>Заготовка установлена в патроне (кулачковом, цапговом, мембранном) или на оправке (кулачковой, цапговой, с винтами и т.п.). Повороту детали под действием момента <math>M</math> препятствуют силы трения <math>fP_3</math>, число которых равно числу и зажимных элементов приспособления (кулачков, лепестков, винтов и т.п.)</p>	$P_3 = 2KM / (nfd)$
	<p>Длинная заготовка консольно закреплена в кулачковом патроне. Опасно выворачивание заготовки из коротких кулачков патрона под действием равнодействующей <math>R_2</math> радиальных составляющих сил резания</p>	<p>Для патрона: трехкулачкового <math>P_3 = 1,33KR_2 L / (df)</math>, четырекулачкового <math>P_3 = 0,5KR_2 L / (df)</math></p>

Окончание табл. 7

Расчетная схема	Пояснение к схеме	Формулы
	<p>Заготовка установлена на оправке (гидропластмассовой, пресовой) или в патроне (гидропластмассовом, с резиновой пневматической оболочкой). Повороту заготовки под действием крутящего момента <math>M</math> препятствуют силы трения, возникающие под действием давления <math>P_3</math> на поверхности контакта центрального зажимного механизма СП с технологической базой заготовки (влиянием кольцевых сил <math>Q</math>, возникающих по краям поверхности контакта, можно пренебречь)</p>	$P_3 \approx 0,64KM / (fLd^2)$
	<p>Заготовка установлена с гарантированным зазором на цилиндрическую оправку (опорный буртик и нажимная шайба которой имеют одинаковые диаметры <math>D</math>) и закреплена давлением <math>P_3</math>, действующим по торцам заготовки</p>	$P_3 = 3,8KM / [f(D^2 - d^2)]$
	<p>Заготовка диаметром <math>d</math> установлена в призму. Силы трения между заготовкой, зажимом и призмой (коэффициенты трения соответственно <math>f_1</math> и <math>f_2</math>) препятствуют повороту заготовки под действием крутящего момента <math>M</math> и осевой сдвигающей силы <math>R</math>. Торцовая опора отсутствует (силы <math>R</math> и трения не показаны)</p>	<p>За силу закрепления <math>P_3</math> принимают больше из значений:  <math>P_3 = KM / \{0,5df_1 + 0,5df_2 / \sin(0,5\alpha)\}</math>;  <math>P_3 = KR / [f_1 + f_2 / \sin(0,5\alpha)]</math></p>

Примечания: 1. Значения коэффициента трения  $f$  при контакте заготовки с опорами и ЗМ поверхностями: обработанными — 0,16; необработанными — 0,2...0,25; при наличии рифлений на опорах и ЗМ — 0,7; при закреплении заготовки в патроне с кулачками: гладкими — 0,16...0,18; с кольцевыми канавками — 0,3...0,4; с взаимно перпендикулярными канавками — 0,4...0,5; с острыми рифлениями — 0,7...1,0.  
 2. Коэффициент запаса  $K = 2,5$ , а при установке заготовок плоской поверхностью на опорные пластинки, зонкерования или фрезерования загнутыми инструментом, использовании ручных зажимных механизмов с неудобным расположением рукояток управления  $K = 3...4,5$  (подробнее см. [1, 2]).  
 3. ЗМ типа I (винтовые, эксцентриковые, клиновые и т.д.) имеют линейную зависимость между силой и перемещением, а типа II (пневматические, гидравлические, пневмогидравлические прямого действия) — сложную.

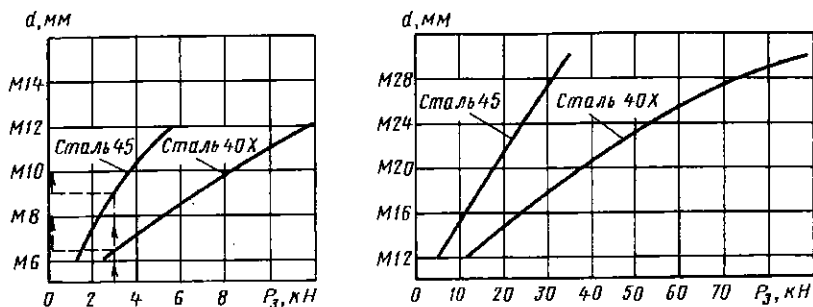
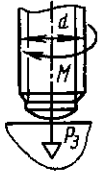
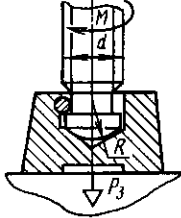
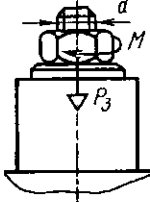


Рис. 15. Зависимость  $d$  от силы  $P_3$  стандартных нажимных винтов СП, выполненных из стали марок 45 или 40Х

### 8. Рекомендации для выбора стандартных нажимных винтов и гаек

Закрепление	Форма конца винта (торца гайки)	Крутящий момент $M$ для создания осевой силы $P_3$	Рекомендуемые нажимные винты (гайки)
Винтом По необработанной поверхности	Цилиндрическая 	$0,1 d P_3$	ГОСТ 13434-68 (в ред. 1990 г.), а также: при $M \leq 0,25 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – ГОСТ 14731-69 (в ред. 1990 г.); при $M \leq 3 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – ГОСТ 13428-68 (в ред. 1990 г.); при $M \leq 50 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – ГОСТ 13432-68 (в ред. 1990 г.)
Предупреждающее повреждение поверхности	Под пята 	$0,1(d + R)P_3$	ГОСТ 13435-68 (в ред. 1990 г.), а также: при $M \leq 3 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – ГОСТ 13429-68 (в ред. 1990 г.); при $M \leq 50 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – ГОСТ 13433-68 (в ред. 1990 г.)
Гайкой	Плоская сферическая 	$0,2 d P_3$	ГОСТ 8918-69 (в ред. 1990 г.), ГОСТ 14727-69 (в ред. 1990 г.), ГОСТ 14728-69 (в ред. 1990 г.), а также: при $M \leq 0,25 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – ГОСТ 14726-69 (в ред. 1990 г.); при $M \leq 3 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – ГОСТ 3385-69 (в ред. 1990 г.); при $M \leq 30 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – ГОСТ 13426-68 (в ред. 1990 г.) и ГОСТ 13427-68 (в ред. 1990 г.)

Примечания: 1. При откреплении винта с концом под пята или гайки  $M$  увеличивают на 20 %.

2. Пята – ГОСТ 13436-68 и ГОСТ 13437-68 (в ред. 1990 г.).

3. При обработке с вибрацией или с ударами предпочтительна резьба с мелким шагом.

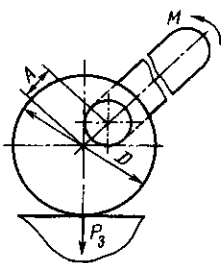


Рис. 16. Расчетная схема эксцентрикового круглого кулачка

Округляя  $P_3$  и  $h$  до ближайших больших значений, выбирают круглый эксцентриковый кулачок (табл. 9).

Клиновые и клиноплунжерные ЗМ без роликов – самотормозящие (рекомендуемое значение угла клина  $\alpha \leq 6^\circ$ ), с роликами – несамотормозящие ( $\alpha \geq 9^\circ$ ). Ход (мм) клина на приводе  $S(Q) = (0,6 + \Delta + P_3/J) \operatorname{ctg} \alpha$ , где  $\Delta$  – отклонение размера устанавливаемой заготовки, мм;

$J = 1000 \dots 3500$  Н/мм – жесткость ЗМ;  $P_3$  – в Н. Сила на приводе  $Q = P_3 i$  (передаточное отношение  $i$  см. рис. 17).

Рычажные ЗМ являются несамотормозящими и применяются в сочетании с другими ЗМ. Сила на приводе  $W = 1,05 P_3 l / l_1$  (рис. 17 и 18); ход (мм) на приводе  $S(W) = 0,6 + \Delta + P_3/J$ , где  $\Delta$  – отклонение размера заготовки, мм;  $J_3 = 1500 \dots 2500$  Н/мм – жесткость ЗМ;  $P_3$  – в Н. В конструкциях рычажных ЗМ применяют стандартные рычаги (ГОСТ 12471–67...ГОСТ 12476–67 (все в ред. 1989 г.); прихваты (ГОСТ 4734–69...ГОСТ 4736–69 (все в ред. 1990 г.), ГОСТ 9057–69 (в ред. 1990 г.), ГОСТ 9058–69 (в ред. 1990 г.), ГОСТ 14732–69 (в ред. 1990 г.), ГОСТ 14733–69 (в ред. 1990 г.)).

Рычажно-шарнирные зажимные механизмы-усилители развивают увеличенную силу  $W = Qi$  (рис. 18).

Реечные ЗМ (ГОСТ 13163–67 (в ред. 1989 г.)) позволяют закреплять заготовку на расстоянии.

#### 9. Основные размеры, мм, и другие характеристики круглых эксцентриковых кулачков (рис. 16) ГОСТ 9061–68 (в ред. 1990 г.)

Наружный диаметр $D$	Эксцентриситет $A$	Ход $h$	$P_3$ , кН	Крутящий момент $M$ (Н · м) на рукоятке эксцентрикового ЗМ
32	1,7	0,35/3,17	2,8	9,3
40	2	1/3,73	3,8	15
50	2,5	1,25/4,66	4,3	21
60	3	1,4/5,59	7	41
70	3,5	1,75/6,53	9,1	62,7
80	4	2/7,46	8	

Примечания: 1. Материал – сталь 20Х, глубина цементированного слоя 0,8...1,2 мм, 55...60 HRC.

2. В числителе – значения хода для кулачков с ограниченным, в знаменателе – неограниченным поворотом.

3. Также применяют эксцентриковые кулачки ГОСТ 12189–66 (в ред. 1990 г.) – ГОСТ 12191–66 (в ред. 1989 г.), а эксцентрики двухпорные, выполненные в виде валика, – ГОСТ 12468–67 (в ред. 1989 г.).

4. Криволинейные эксцентриковые кулачки, которые выполняют по спиралам Архимеда, логарифмической или по эвольвенте, отличаются более стабильной силой закрепления заготовок.

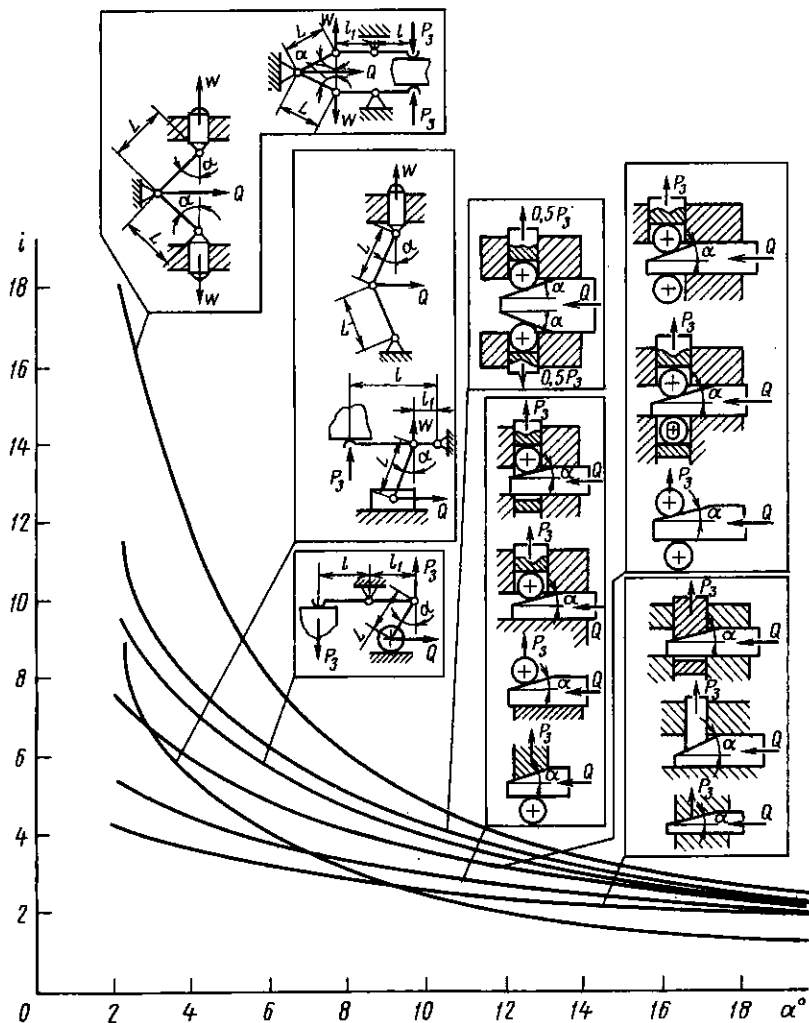


Рис. 17. Зависимость  $i$  от угла  $\alpha$  клина для клиновых, клиноплунжерных и рычажно-шарнирных ЗМ

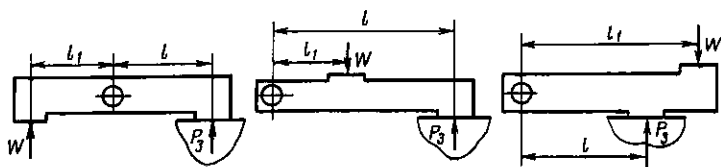


Рис. 18. Расчетные схемы рычажных ЗМ ( $P_3$  – реакция со стороны закрепленной заготовки)

ЗМ многоместные, непрерывного действия, быстропереналаживаемые с механизированными прихватами (рис. 19) позволяют сокращать вспомогательное время. При вращении планшайбы 1 (рис. 19, б) шток 2 рычажно-шарнирного ЗМ, контактирующий с копирной линейкой 3, освобож-

ждает или закрепляет заготовку 5 с помощью подвижной 4 и неподвижной 6 призм. Эксцентриковый кулачок служит для закрепления-открепления заготовки, а рычаг – для перемещений прихвата (рис. 19, в). Количественную оценку сил закрепления заготовок в патронах и оправках см. в табл. 6.

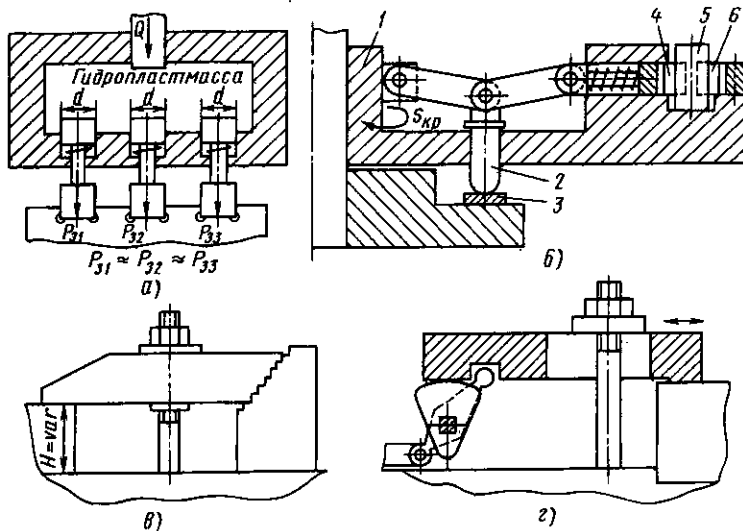


Рис. 19. ЗМ, позволяющие сокращать вспомогательное время:

а – многоточные; б – непрерывного действия; в – быстрореналаживаемый прихват со ступенчатой опорой; г – быстродействующий прихват с эксцентриковым кулачком и рычагом

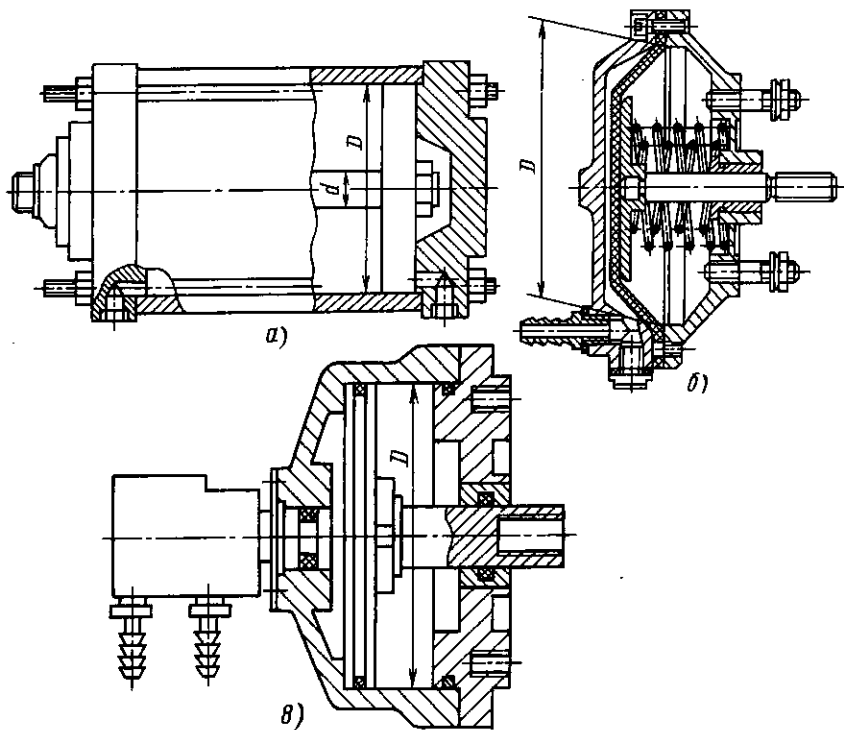


Рис. 20. Пневмоцилиндры:

а – стационарный поршневой двустороннего действия с односторонним штоком на удлиненных стяжках ГОСТ 15608-81 (в ред. 1993 г.); б – с тарельчатой мембраной ( $D = 125; 160; 200; 250; 320; 400$  мм); в – вращающийся одинарный

Предпочтительны механизированные приводы СП. Наибольшее применение получили

пневмопривод (табл. 10 и 11, рис. 20) и гидропривод (табл. 12, 13, рис. 21, 22).

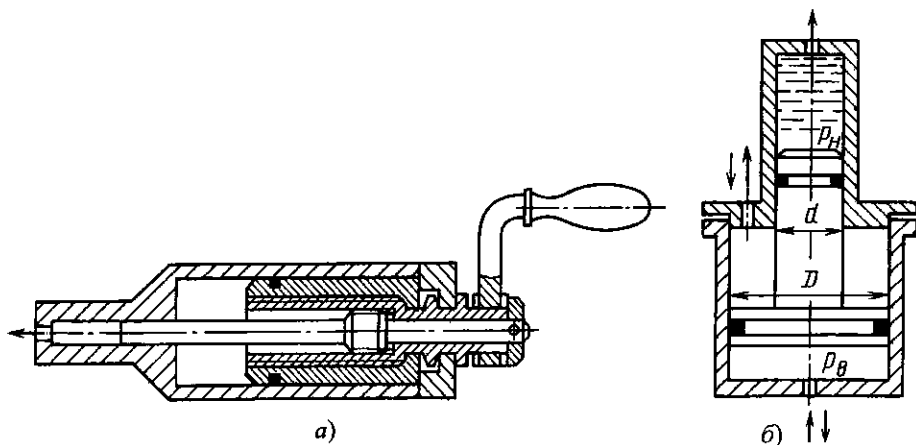


Рис. 21. Схемы источников подачи масла в гидродвигатели:

*a* – насоса винтового двухступенчатого; *б* – одноступенчатого пневмогидропреобразователя

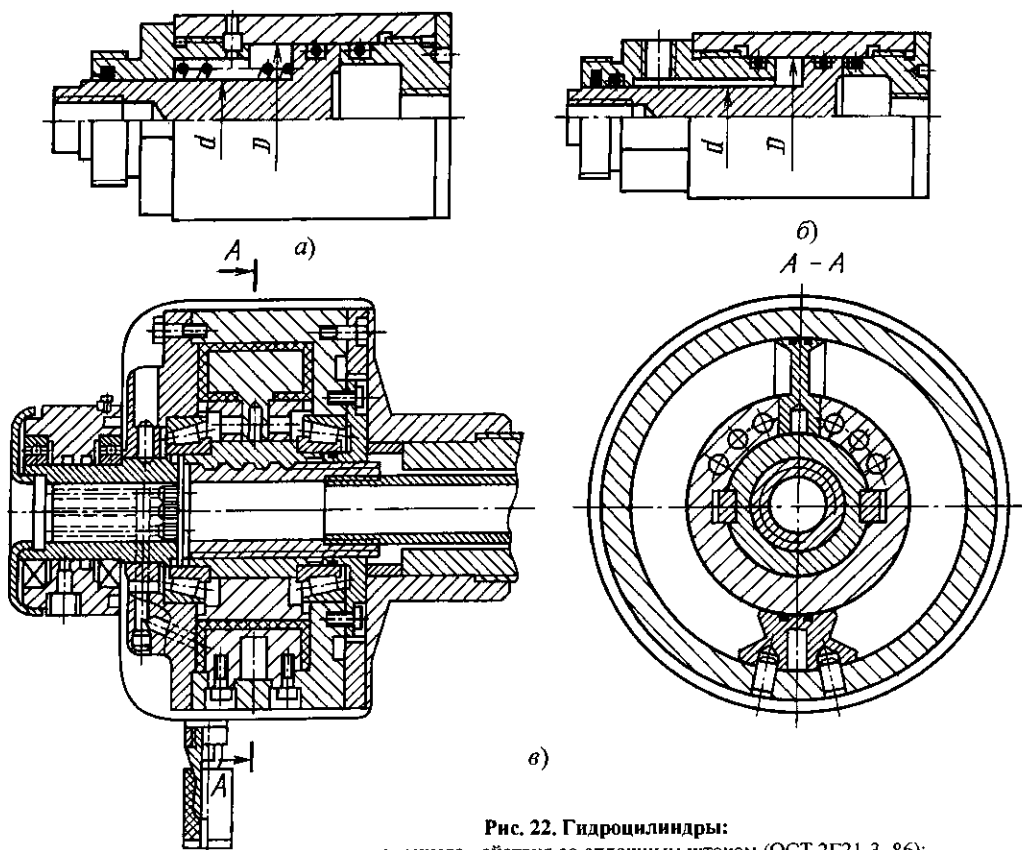


Рис. 22. Гидроцилиндры:

*a* – одностороннего действия со сплошным штоком (ОСТ 2Г21-3-86);  
*б* – двустороннего действия (ОСТ 2Г22-3-86); *в* – поворотный шиберный

**10. Основные параметры стационарных поршневых пневмоцилиндров двустороннего действия с односторонним штоком (рис. 20, а) ГОСТ 15608–81 (в ред. 1993 г.)**

Диаметр, мм		Ход штока, мм	Сила на штоке, кН, при давлении, МПа		
D цилиндра	d штока		0,39	0,63	1,0
100	25	10...1000	2,63/2,49	4,3/4	6,75/6,35
125	32	10...1250	4,1/3,9	6,7/6,2	10,6/9,9
160	40	10...1600	7,02/6,63	11,4/10,7	18,1/17
200		10...2000	11,11/10,53	17,8/17,1	28,4/27,2
250	63	10...2500	17,25/16,09	27,8/26,1	44,2/41,4
320	50		29	47/44,1	74,8/70,1

Примечания: 1. В числителе – сила толкающая, в знаменателе – тянущая. 2. Скорость перемещения штока до 0,5 м/с для цилиндров диаметром св. 160 мм до 1 м/с – для цилиндров меньших диаметров. 3. Пневмоцилиндр выбирают по ГОСТ 15608–81 (в ред. 1990 г.) с учетом силы на штоке, хода штока и способа установки на СП. 4. Проведена ограниченная номенклатура. 5. Не распространяется на пневмоцилиндры вращающиеся и встрошенные. 6. В инженерных расчетах предпочтительно использовать значение силы на штоке при давлении 0,39 МПа.

**11. Технические характеристики пневмоцилиндров вращающихся однарных (рис. 20, в)**

Диаметр, мм, пневмоцилиндра	125	160	200	250	300
Сила, кН, на штоке	4,12/3,92	7,06/6,82	11,18/10,58	17,36/16,63	24,94/23,85

Примечания: 1. Сила на штоке определена с учетом КПД пневмоцилиндра и при давлении сжатого воздуха 0,39 МПа. 2. В числителе – сила толкающая, в знаменателе – тянущая. 3. Приведена ограниченная номенклатура. 4. Частота вращения – не более 300 с<sup>-1</sup>.

**12. Технические характеристики стандартных гидроцилиндров: одностороннего действия со сплошным (ОСТ 2Г21-3-86) и полым (ОСТ 2Г21-4-86) штоком, двустороннего действия (ОСТ 2Г22-3-86), двустороннего действия укороченных (ОСТ 2Г22-4-86) (размеры, мм)**

Диаметр цилиндра		Диаметр штока цилиндра		Ход поршня цилиндра		Теоретическая сила, кН, на штоке цилиндра		
ОСТ 2Г21-3-86, ОСТ 2Г21-4-86	ОСТ 2Г22-3-86, ОСТ 2Г22-4-86	ОСТ 2Г21-3-86, ОСТ 2Г21-4-86	ОСТ 2Г22-3-86, ОСТ 2Г22-4-86	ОСТ 2Г21-3-86, ОСТ 2Г21-4-86	ОСТ 2Г22-3-86, ОСТ 2Г22-4-86	ОСТ 2Г21-3-86	ОСТ 2Г21-4-86	ОСТ 2Г22-3-86, ОСТ 2Г22-4-86
40		22(13)		12	12; 32; 50; 80	11,7	9,9	12,3/8,5
50		25(17)		16	16; 32; 50; 80	18,1	11,7	19,2/14,4
63		32(21)				29,2	23,1	30,5/22,6
80		36(25)				–	37,5	49,2/39,2
–	100	–	45	–	–	–	–	76,9/61,3

Примечания: 1. Номинальное давление 10 МПа. 2. В скобках – диаметр отверстия штока цилиндра ОСТ 2Г21-4-86. 3. В числителе – сила на штоке толкающая, в знаменателе – тянущая. 4. См. рис. 22, а, б. 5. Приведена ограниченная номенклатура.



## 13. Технические характеристики гидростанций (типа СВ)

Характеристика	Гидростанция		
	СВ10	СВ25	СВ40
Вместимость бака, м <sup>3</sup>	0,01	0,025	0,04
Номинальное давление, МПа	6,3	6,3; 12,5; 20	
Номинальная подача насоса, м <sup>3</sup> /мин × 10 <sup>3</sup>	3...18		
Мощность электродвигателя, кВт	0,27...1,5	0,27...3,0	
Габаритные размеры, мм:			
высота	650	700	790
ширина	350		
длина	590		

Примечание. Станции работают на чистых минеральных маслах вязкостью  $(17...23)10^{-2}$  м<sup>2</sup>/с, очищенных от частиц размером более 0,025...0,04 мм, при температуре масла 10...55 °С и окружающей среды 10...40 °С.

Инженерные расчеты нестандартных гидроцилиндров одностороннего действия можно проводить по следующим формулам:

Диаметр цилиндра (мм)

$$D = 1,13\sqrt{(Q + xc)/(\eta c)}.$$

Толкающая сила на штоке (кН)

$$Q = (0,785 D^2 p \eta - cx) \cdot 10^{-3}.$$

Объем масла (м<sup>3</sup>) при подаче в полость:

штоковую

$$V_{ш} = 0,785 \cdot 10^{-9} (D^2 - d^2) l;$$

поршневую

$$V_n = 0,785 \cdot 10^{-9} D^2 l.$$

Скорость перемещения поршня (м/с) при подаче масла в полость: штоковую  $v_{ш} = 1,27 \times 10^6 q / (D^2 - d^2)$ , поршневую  $v_n = 1,27 \cdot 10^6 q / D^2$ , где  $p$  – давление масла, МПа;  $\eta = 0,93$  – механический КПД;  $c$  – жесткость пружины, Н/м;  $x$  – сжатие пружины, мм;  $l$  – ход поршня, мм;  $q$  – подача насоса, м<sup>3</sup>/с;  $d$  – диаметр штока, мм.

В расчетах нестандартных гидроцилиндров двустороннего действия принимают  $xc = 0$ , а тянущая сила (кН)  $Q_{тян} = 0,785 (D^2 - d^2) p \eta$ .

При обработке стальных и чугунных деталей широко применяют магнитные (электромагнитные) плиты, патроны и планшайбы (удельная сила притяжения 0,5...0,75 МПа).

При обработке с небольшими силами резания заготовок оболочек и пластин, выполненных из немагнитных и магнитных материалов, – вакуумные плиты, создающие избыточное давление около 0,1 МПа. При выполнении тяжелых работ применяют электромеханический привод. При использовании ручного привода ограничивают силу на рукоятке и число закреплений в смену (не более 0,15...0,2 кН и 750 соответственно).

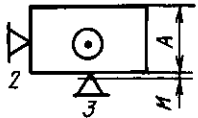
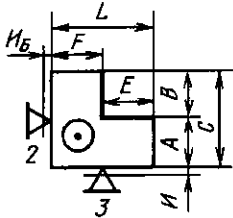
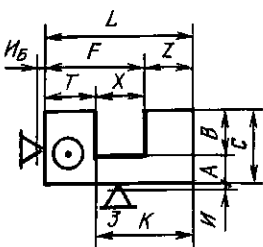
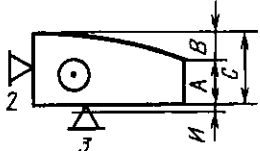
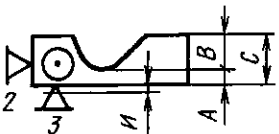
### ПОГРЕШНОСТЬ УСТАНОВКИ ЗАГОТОВОК В СП<sup>1</sup>

Отклонение фактического положения установленной заготовки от требуемого оценивают погрешностью установки  $\epsilon$ , которая является одной из составляющих отклонения выполняемого размера:  $\epsilon = \sqrt{\epsilon_б^2 + \epsilon_з^2 + \epsilon_{пр}^2}$ , где  $\epsilon_б$ ,  $\epsilon_з$  и  $\epsilon_{пр}$  – соответственно погрешности базирования, закрепления и положения.

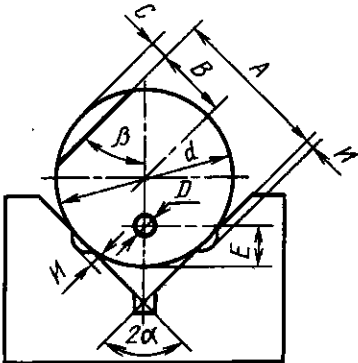
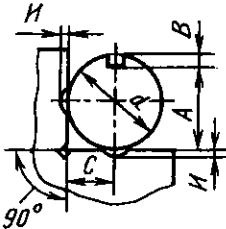
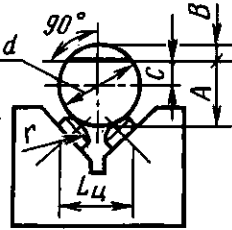
Погрешность  $\epsilon_б$  базирования – отклонение фактического положения заготовки, достигнутого при базировании, от требуемого, возникающее при несоответствии измерительной и технологической баз заготовки и равное расстоянию между предельными положениями проекций измерительной базы на направление выполняемого размера (табл. 14).

<sup>1</sup> Подробнее см. [1, 2].

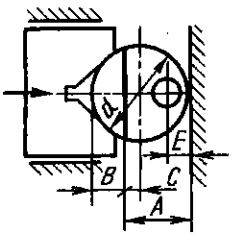
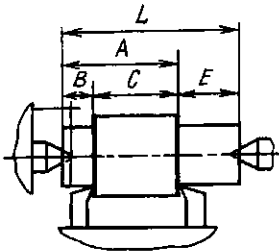
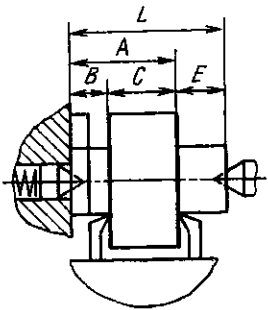
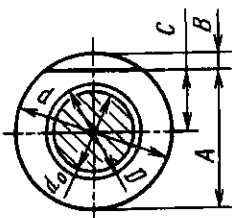
14. Погрешности базирования

Схема установки	Выдерживаемый размер	$\epsilon_6$
<p>1.</p> 	A	0; И*
<p>2.</p> 	A	0; И*
	B	ITC; (ITC + И)*
	E	ITL; (ITL + ИБ)*
	F	0; ИБ*
<p>3.</p> 	A	0; И*
	B	ITC; (ITC + И)*
	X	0; 0*
	T, F	0; ИБ*
	K	ITL; (ITL + ИБ)*
<p>4.</p> 	A	0; И*
	B	0; 0*
<p>5.</p> 	A	0; И*
	B	ITC; (ITC + И)*

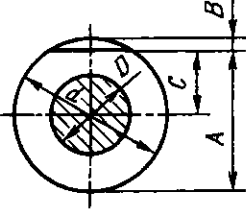
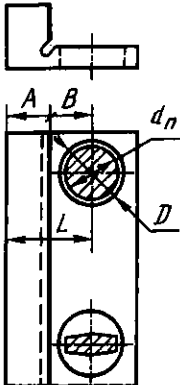
Продолжение табл. 14

Схема установки	Выдерживаемый размер	$E_6$
<p>6.</p> 	<p>A</p> <p>При <math>\alpha \leq \beta &lt; 90^\circ</math>  <math>0,5 ITd (\sin\beta/\sin\alpha - 1)</math>;  <math>[0,5 ITd (\sin\beta/\sin\alpha - 1) + И \sin\beta/\sin\alpha]^*</math></p> <p>При <math>\alpha = \beta</math>  <math>0</math>; <math>(И \sin\beta/\sin\alpha)^*</math></p> <p>При <math>0 \leq \beta &lt; \alpha</math>  <math>0,5 ITd (1 - \sin\beta/\sin\alpha)</math>;  <math>[0,5 ITd (1 - \sin\beta/\sin\alpha) + И \sin\beta/\sin\alpha]^*</math></p> <p>B</p> <p><math>0,5 ITd \sin\beta/\sin\alpha</math>;  <math>[0,5 ITd + И] \sin\beta/\sin\alpha]^*</math></p> <p>C</p> <p><math>0,5 ITd (\sin\beta/\sin\alpha + 1)</math>;  <math>[0,5 ITd + (0,5 ITd + И) \sin\beta/\sin\alpha]^*</math></p> <p>E</p> <p>При <math>E \geq 0,5d</math>  <math>0,5 ITd (1/\sin\alpha - 1)</math>;  <math>[0,5 ITd (1/\sin\alpha - 1) + И/\sin\alpha]^*</math></p> <p>При <math>E \leq 0,5d</math>  <math>0,5 ITd (1/\sin\alpha + 1)</math>;  <math>[0,5 ITd (1/\sin\alpha + 1) + И/\sin\alpha]^*</math></p> <p>При <math>E = 0,5d</math>  <math>0,5 ITd/\sin\alpha</math>;  <math>[(0,5 ITd + И) / \sin\alpha]^*</math></p> <p>D</p> <p><math>0</math>; <math>0^*</math></p>	
<p>7.</p> 	<p>A</p> <p><math>0</math>; <math>И^*</math></p> <p>B</p> <p><math>ITd</math>; <math>(ITd + И)^*</math></p> <p>C</p> <p><math>0,5 ITd</math>; <math>(0,5 ITd + И)^*</math></p>	
<p>8.</p> 	<p>A</p> <p><math>\psi - 0,5 Ird</math></p> <p>B</p> <p><math>\psi + 0,5 Ird</math></p> <p>C</p> <p><math>\psi</math></p>	

Продолжение табл. 14

Схема установки	Выдерживаемый размер	$\epsilon_6$
<p>9.</p> 	<p>A</p> <p>B</p> <p>C</p> <p>E</p>	<p>0</p> <p>ITd</p> <p>0,5ITd</p> <p>0</p>
<p>10.</p> 	<p>A; B</p> <p>C</p> <p>E</p>	<p>ITЦ</p> <p>0</p> <p>ITL + ITЦ</p>
<p>11.</p> 	<p>A; B; C</p> <p>E</p>	<p>0</p> <p>ITL</p>
<p>12.</p> 	<p>A; B</p> <p>C</p>	<p><math>0,5 ITd + 2e + ITD + ITd_0 + \Delta_{rap};</math>  <math>(0,5 ITd + 2e + ITD + ITd_0 + \Delta_{rap} + И)^*</math></p> <p><math>2e + ITD + ITd_0 + \Delta_{rap};</math>  <math>(2e + ITD + ITd_0 + \Delta_{rap} + И)^*</math></p>

Окончание табл. 14

Схема установки	Выдерживаемый размер	$\epsilon_6$
13. 	A; B	$0,5 ITd + 2e;$ $(0,5 ITd + 2e)^*$
	C	$2e^*$
14. 	A	$ITL + \Delta_{\text{грав}} + ITD + ITd_n;$ $ITL + \Delta_{\text{грав}} + ITD + ITd_n + И)^*$
	B	$\Delta_{\text{грав}} + ITD + ITd_n;$ $(\Delta_{\text{грав}} + ITD + ITd_n + И)^*$

Примечания: 1. На схемах 1 – 7 и 12 – 14 приведены значения  $\epsilon_6$  при установке заготовки на новые опоры (без звездочки) и на изношенные (со звездочкой). На схемах 8 – 11 приведены значения  $\epsilon_6$  при установке заготовок только на новые опоры.

2. Износ И распространенных опор см. табл. 17.

3. На схемах 12 – 14 износ опор условно не показан.

4. Жирной линией выделены обработанные поверхности.

5. ИТС – отклонение размера C и т.д.

6. На схеме 8  $\psi = \sqrt{(r + 0,5d_{\min} + 0,5ITd)^2 - 0,25L_u^2} - \sqrt{(r + 0,5d_{\min})^2 - 0,25L_u^2}$ , где  $L_u$  – расстояние между центрами кривизны сферических головок штырей радиусом  $r$ , а  $d_{\min}$  – наименьшее значение диаметра технологической базы заготовок в партии.

7. На схеме 9 значение  $\epsilon_6 E$  справедливо при любом E.

8. На схемах 10 и 11 передние центры соответственно жесткий и плавающий.

9. На схеме 10 ИТЦ – допуск на глубину центрового отверстия заготовки. Для стандартных центровых отверстий с углом  $60^\circ$  и диаметром  $D_u$  1,2 и 2,5 мм ИТЦ = 0,11 мм; при  $D_u$  4; 5 и 6 мм ИТЦ = 0,14 мм; при  $D_u$  7,5 и 10 мм ИТЦ = 0,18 мм; при  $D_u$  12,5 и 15 мм ИТЦ = 0,21 мм; при  $D_u$  20 и 30 мм ИТЦ = 0,25 мм.  $D_u$  на схеме не указан.

10. На схеме 12 показана схема установки заготовки на жесткий цилиндрический палец (оправку) с гарантированным зазором  $\Delta_{\text{грав}}$ , а на схеме 13 – на прессовую или разжимную оправку.

11. На схемах 12, 13  $e$  – эксцентриситет между наружной и внутренней поверхностями вращения заготовки.

Погрешность  $\epsilon_6$  базирования уменьшают совмещением технологической и измерительной баз; правильным выбором и размещением опор СП; уменьшением зазоров при установке заготовок на охватывающие или охватываемые опоры. Погрешность базирования не возникает при выполнении размеров: диаметральных; связывающих поверхности, одновременно обрабатываемые одной инструментальной наладкой или осевым инструментом.

Погрешность  $\epsilon_3$  закрепления – разность наибольшей и наименьшей проекций смещения измерительной базы на направление выполняемого размера при приложении к заготовке силы закрепления. Согласно определению,  $\epsilon_3 = (y_{\text{наиб}} - y_{\text{наим}}) \cos \alpha$ , где  $y_{\text{наиб}}$  и  $y_{\text{наим}}$  – соответственно наибольшее и наименьшее смещения измерительной базы при приложении к заготовке силы закрепления  $P_3$ ;  $\alpha$  – угол между направлением выполняемого размера и направлением смещений  $y$  измерительной базы.

На рис. 23 направление размера  $T$  совпадает с направлением смещений  $y$  ( $\alpha = 0^\circ$ ), а направление размера  $L$  перпендикулярно смещениям  $y$  ( $\alpha = 90^\circ$ ). Поэтому погрешность закрепления для размеров  $T$  и  $L$  соответственно равна  $\epsilon_3 T = y_{\text{наиб}} - y_{\text{наим}}$  и  $\epsilon_3 L = 0$ .

Погрешность  $\epsilon_3$  закрепления зависит от нестабильности смещений  $y$  измерительной базы и не зависит от их абсолютной величины (табл. 15).

В общем случае смещение  $y$  измерительной базы под действием силы закрепления  $P_3$  складывается из перемещений, вызванных: контактными явлениями в стыке "опора СП – технологическая база заготовки ( $Y$ )"; собственными деформациями заготовки ( $y_{\text{заг}}$ ) и СП ( $y_{\text{сп}}$ ); контактными явлениями в предварительно затянутых стыках СП ( $y_{\text{сп}}$ ).

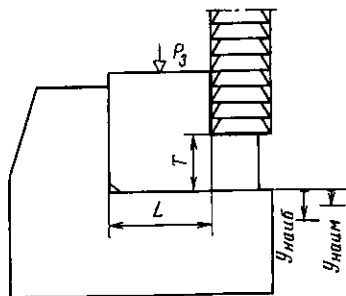


Рис. 23. Расчетная схема погрешности закрепления

15. Пример влияния нестабильности смещений  $y$  измерительной базы на погрешность  $\epsilon_3$  закрепления

Смещения $y$ измерительной базы	$y_{\text{наиб}}$	$y_{\text{наим}}$	$\epsilon_3 = y_{\text{наиб}} - y_{\text{наим}}$
	МКМ		
Стабильные	30	27	3
Нестабильные	10	2	8

Примечание. Принято  $\alpha = 0^\circ$ .

В инженерных расчетах основное внимание уделяют контактными явлениям в стыке "опора СП – технологическая база заготовки", принимая  $y \approx Y$ , составляющими  $y_{\text{заг}}$  и  $y_{\text{сп}}$  обычно пренебрегают, полагая заготовку и СП весьма жесткими. Составляющую  $y_{\text{сп}}$  учитывают при использовании обратных и перенастраиваемых СП с большим числом стыков.

Преобладающие контактные перемещения  $Y$  в стыке "опора СП – технологическая база заготовки" выражают нелинейным законом (рис. 24):

$$Y = Cq^n,$$

где  $C$  – коэффициент, характеризующий тип и изнашивание опоры, вид контакта опоры с технологической базой заготовки, материалы заготовок и опоры, шероховатость, волнистость и отклонения формы технологической базы заготовки;  $q$  – нормальная реакция в опоре (табл. 16);  $n < 1$  – показатель степени.

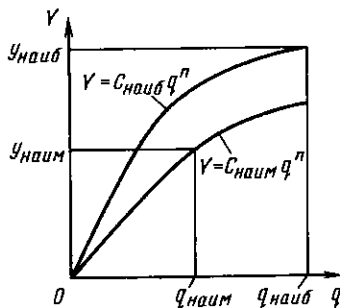
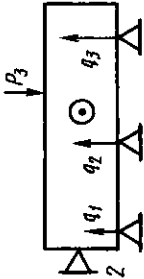
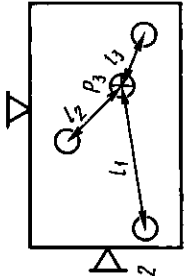


Рис. 24. Зависимость  $Y$  от реакции в опоре

16. Нормальные реакции  $q$  в опорах и оценочные значения  $\epsilon_3$  для распространенных схем установки

Установка	Эскиз	Нормальная реакция $q$ в опоре	Формулы	Оценочные значения $\epsilon_3$ , МКМ
Плоской поверхностью на штыри с головкой:  сферической (ГОСТ 13441-68 (в ред. 1990 г.))			$q_i = P_3 l_i / (l_1 + l_2 + l_3);$ при выгодном расположении опор, т.е. когда $l_1 \approx l_2 \approx l_3,$ $q_1 \approx 0,33 P_3$	До 100
насечной (ГОСТ 13442-68 (в ред. 1990 г.))		Сосредоточенная сила, проходящая по оси штыря, Н		До 60
плоской (ГОСТ 13440-68 (в ред. 1990 г.))			$q_i = P_3 l_i / F (l_1 - l_2 + l_3);$ при выгодном расположении опор, т.е. когда $l_1 \approx l_2 \approx l_3,$ $q_i \approx 0,33 P_3 / F$	До 20

Окончание табл. 16

Установка	Эскиз	Нормальная реакция $q$ в опоре	Формулы	Оценочные значения $\varepsilon_3$ , МКМ
<p>Опорных: шайб (ГОСТ 17778-72 (в ред. 1990 г.)) пластин (ГОСТ 4743-68 (в ред. 1990 г.))</p>		<p>При выгодном, т.е. симметричном расположении силы закрепления <math>P_3</math> относительно опор (<math>e = 0</math>), <math>q = 0,5P_3/L</math>. При невыгодном, т.е. несимметричном расположении силы закрепления <math>P_3</math> относительно опор (<math>e &gt; 0</math>) давление <math>q</math> увеличивается в 1,5...3 раза, а в ответственных случаях — вычисляются [4]. Во избежание раскрытия стыка не рекомендуются <math>e \geq 0,25L</math>.</p>	<p>До 10</p>	
<p>Наружной цилиндрической поверхностью в призмусе с углом <math>2\beta</math></p>		<p>Сила, действующая по нормали к рабочим граням призмы по длине <math>l_{пр}</math> контакта базы заготовки с призмой, Н/мм</p>	<p><math>q = (0,05 P_3 \operatorname{ctg} \beta / 2) / l_{пр}</math></p>	<p>До 25</p>

Примечания: 1.  $P_3$  — сила закрепления заготовки, Н. 2.  $l_i$  — расстояние (мм) от  $P_3$  до  $i$ -й опоры. 3.  $F$  — площадь опоры, мм<sup>2</sup>. 4.  $L$  — длина опорной пластинки, мм. 5.  $e$  — смещение (мм) силы  $P_3$  относительно центра опорной пластинки. 6.  $l_{пр}$  — длина (мм) контакта заготовки с одной гранью призмы.



Значения  $C$  и  $n$  находят экспериментально. Аналитические решения получены для ограниченного числа типовых случаев. Основными причинами нестабильности контактных перемещений  $Y$  в стыках опора – заготовка и возникновения  $\epsilon_z$  являются: непостоянство нормальных реакций  $q$  в опорах; неоднородности шероховатости и волнистости технологических баз заготовок; износ опор. Оценочные значения  $\epsilon_z$  см. табл. 16, точные решения – в работе [2].

Погрешность  $\epsilon_z$  закрепления уменьшают следующими способами: располагая направления выполняемого размера и смещения измерительной базы по нормали друг к другу; использованием приводов СП со стабильной силой закрепления заготовок; рациональным расположением опор относительно силы закрепления заготовок (см. табл. 16); повышением износостойкости опор; повышением собственной и контактной жесткостей СП; шлифованием ответственных поверхностей опор и других деталей СП, особенно обратимых и переналаживаемых, периферией кругов из сверхтвердых синтетических материалов (металлизированные кубонит или алмазы АСВ на металлической связке); многократной затяжкой стыков СП; введением в стыки СП тонкого слоя клея; более тщательной обработкой технологических баз заготовок с уменьшением и стабилизацией параметров шероховатости и волнистости.

Погрешность  $\epsilon_{пр}$  положения возникает из-за погрешностей изготовления СП ( $\epsilon_{ус}$ ), погрешностей установки СП на станок ( $\epsilon_c$ ), износа опор СП ( $\epsilon_n$ ). Погрешность  $\epsilon_{ус}$  уменьшают точным изготовлением СП. Как правило, допуск ответственного размера СП ужесточают в 3...10 раз по сравнению с допуском соответствующего выполняемого размера. С учетом технологических возможностей инструментальных цехов, в инженерных расчетах принимают  $\epsilon_{ус} \leq 0,015$  мм при изготовлении обычных СП и  $\epsilon_{ус} \leq 0,01$  мм – при изготовлении точных. При использовании одного СП  $\epsilon_{ус}$  является систематической постоянной погрешностью, которую можно уменьшить наладкой станка. Однако при использовании нескольких одинаковых СП (дублеров, спутников) наладка станков не компенсирует  $\epsilon_{ус}$ , и последняя полностью должна включаться в  $\epsilon_{пр}$  (подробнее см. [2]).

Погрешность  $\epsilon_c$  уменьшают правильным выбором зазоров в сопряжениях СП со станком, равномерной затяжкой крепежных деталей, применением направляющих элементов

(центрирующих поясков, пальцев, фиксаторов, шпонок), предупреждением изнашивания и повреждении конструкторских баз корпуса СП и ответственных поверхностей станка при переустановках СП. В инженерных расчетах принимают  $\epsilon_c = 0,01...0,05$  мм. При постоянной установке СП на станке погрешность  $\epsilon_c$  можно уменьшить выверкой СП и наладкой станка (массовое и крупносерийное производство, за исключением случаев использования приспособлений-спутников). При периодической переустановке СП на станке (приспособления-спутники в массовом производстве, серийное и единичное производство) погрешность  $\epsilon_c$  превращается в случайную некомпеислируемую величину и полностью входит в  $\epsilon_{пр}$ .

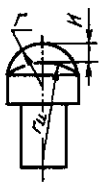
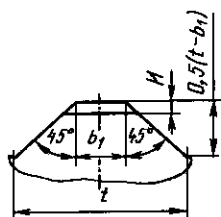
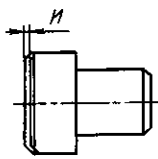
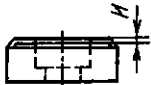
Погрешность  $\epsilon_n$  возникает в связи с износом опор и других ответственных поверхностей СП. Износ опор СП зависит от их конструкции, размеров, материала и термической обработки; материала, твердости, массы заготовки и состояния ее технологических баз; способа установки заготовки на опоры и съема обработанной детали с опор; динамических характеристик процесса резания; основного технологического времени оснащаемых операций.

Быстрее изнашиваются опоры: с ограниченными поверхностями контакта с технологической базой заготовки; контактирующие с необработанными технологическими базами заготовок, из которых имеются окалина или формовочный песок; служащие для установки массивных заготовок. Износ опор возрастает при увеличении сдвига заготовки по опорам в процессе установки и съема после обработки, с увеличением основного технологического времени, с увеличением амплитуды и частоты вибрации заготовки при резании.



Погрешность  $\epsilon_n$  в результате износа опор приведена в табл. 17; вредное влияние износа опор на погрешность базирования см. табл. 14.

Точность установки снижается в результате отклонений формы и расположения технологических баз заготовок (табл. 18, 19). Отклонения от плоскостности технологических баз корпусных деталей типа корпуса блока цилиндров двигателя, обработанных чистовым фрезерованием, достигают 0,05...0,1 мм. При установке такими технологическими базами возникает дополнительная составляющая погрешности базирования, равная 50...70 % допуска плоскостности технологической базы при установке на штыри и 30 % – на опорные пластинки.

**17. Погрешность  $\epsilon_n$  в результате износа распространяемых опор, изменения их формы и размеров**

Опора	$\beta$	$n$	Формула для вычисления размеров изношенных опор
<p>Штырь с головкой: сферической (ГОСТ 13441-68 (в ред. 1990 г.))</p> 	0,5...2	0,5	$r_n = r^2 / (r - 8И)$
<p>насеченной (ГОСТ 13442-68 (в ред. 1990 г.))</p> 	0,6...2,5		$F_n = \pi D^2 (b_1 + 2И)^2 / t^2$
<p>плоской (ГОСТ 13440-68 (в ред. 1990 г.))</p> 	0,4...0,8	1	$F_n = 0,95F$
<p>Опорные: шайба (ГОСТ 17778-72 (в ред. 1990 г.))</p> 	0,002...0,004		

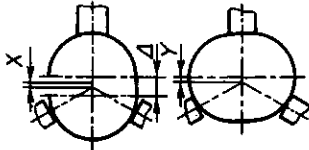
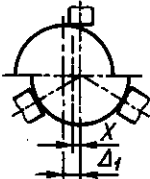
Окончание табл. 17

Опора	$\beta$	$n$	Формула для вычисления размеров изношенных опор
пластинка (ГОСТ 4743-68 (в ред. 1990 г.)) 	0,002...0,004	1	$F_{и} = 0,95F$
призма 	0,3...0,8	0,5	$h \approx \sqrt{4dИ} + (0,5ITd + И) \text{ctg}\alpha$

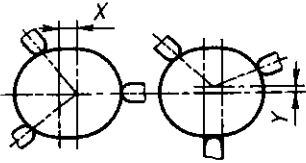
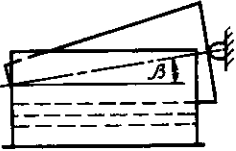
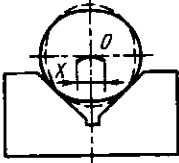
Примечания:

1. Износ  $И = \beta N^n$ , мкм, где  $N$  – число установок.
2. Приведенные значения  $\beta$  и  $n$  справедливы для опор из сталей 20, 20Х, 45. Для опор из стали У8А величина износа уменьшается на 10...15 %, хромированных – в 2...3 раза, наплавленных твердым сплавом – в 7...10 раз.
3. Для срезанных пальцев принимают  $\beta = 0,2...0,6$  и  $n = 0,5$ ; для цилиндрических пальцев  $\beta = 0,001...0,002$  и  $n = 1$ .
4.  $F$  – номинальная площадь контакта изношенной опоры с базой заготовки, мм<sup>2</sup>.
5.  $ITd$  – поле допуска на диаметр  $d$  цилиндрической базы заготовки.
6.  $\alpha$  – половина угла призмы, °.

### 18. Влияние отклонений формы технологических баз заготовок на точность установки в призмы и патроны

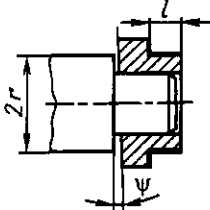
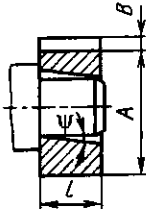
Приспособление	Схема	Количественная оценка
Патрон с тремя кулачками: широкий		$X = 0,17\Delta; Y = 0,29\Delta$
		$X = 0,5\Delta_1$

Окончание табл. 18

Приспособление	Схема	Количественная оценка
узкими		$X = a(a^2 - b^2) / (3b^2 - a^2);$ $Y = b(a^2 - b^2) / (3a^2 + b^2)$
Призма		$\beta = \arctg(0,5i / \sin 0,5\alpha)$
		$Y = 1,4(a - b)$

- Примечания: 1.  $\Delta$  – величина недоштамповки.  
 2.  $\Delta_1$  – величина сдвига штампов.  
 3.  $a$  и  $b$  – соответственно большая и малая полуоси овала.  
 4.  $i$  – конусообразность.

**19. Влияние отклонений формы и расположения технологических баз заготовок на точность установки на пальцы и оправки**

Эскиз	Выполняемый размер	Погрешность базирования
	$l$	$ITD + ITL + 2r \operatorname{tg}\psi$
	$A; B$	$0,5ITd + 2e + ITD + ITd_0 + \Delta_{\text{гир}} + \Delta 2l \operatorname{tg}\psi$

Окончание табл. 19

Эскиз	Выполняемый размер	Погрешность базирования
	$A; B$	$0,5ITd + 2e + 0,5ITD + 0,5ITd_0 + l \operatorname{tg} \psi$

- Примечания: 1.  $d, D$  и  $d_0$  — соответственно диаметры наружный и отверстия заготовки, пальца (оправки).  
 2.  $e$  — эксцентриситет наружной поверхности заготовки относительно отверстия.  
 3.  $\Delta_{\text{гар}}$  — гарантированный зазор.  
 4. Жирной линией выделены обработанные поверхности.  
 5. На нижней схеме показана установка заготовки с односторонним отжимом.

При обработке нежестких заготовок учитывают влияние деформации под действием сил закрепления на точность (подробнее см. [2; 5]). При закреплении нежесткого кольца  $n$  радиальными силами  $P_3$  (см. табл. 7) отклонение от круглости обработанной поверхности составит  $\Delta_{\text{кр}} = C_n P_3 r^3 / (EJ)$ , где безразмерный коэффициент  $C_n$  зависит от числа сил  $n$ :

$n$ .....	2	3	4	5	6	7
$C_n$ .....	0,14	0,03	0,01	0,006	0,003	0,002

Окончание

$n$ .....	8	9	10	11	12
$C_n$ .....	0,0013	0,001	0,0007	0,0005	0,0004

$r$  — средний радиус кольца, мм;  $J$  — момент инерции поперечного сечения кольца, мм<sup>4</sup>;  $E$  — модуль упругости материала кольца, МПа;  $P_3$  — сила, Н.

### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

В целях сокращения сроков технологической подготовки производства в серийном машиностроении применяют приспособления: универсально-сборные (УСП, см. ГОСТ 31.111.41–93); универсальные наладочные и специализированные наладочные (соответственно УНП и СНП, см. ГОСТ 31.0151.01–90); универсально-сборные переналаживаемые (УСПО,

см. ГОСТ 31.121.41–84 (в ред. 1989 г.), ГОСТ 31.121.42–84 (в ред. 1989 г.), а также [3; 4]). Основные параметры СП для станков с ЧПУ, ГПМ, ГПС см. ГОСТ 31.1001.01–88. Требования безопасности к СП см. ГОСТ Р 51346–99 и [2].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Корсаков В.С.** Основы конструирования приспособлений: Учебник для вузов, 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1983. 277 с., ил.
- Станочные** приспособления: Справочник: В 2-х т. / Ред. совет: Б.Н. Вардашкин (пред.) и др. М.: Машиностроение, 1984. 1248 с., ил.
- Машиностроение: Энциклопедия:** Т. П-3: Технология изготовления деталей машин / А.М. Дальский, А.Г. Суслов, Ю.Ф. Назаров и др.; Под общ. ред. А.Г. Сулова. М.: Машиностроение, 2002. 840 с., ил.
- Переналаживаемая** технологическая оснастка / В.Д. Бряуков, А.Ф. Довженко, В.В. Колганенко и др.; Под общ. ред. Д.И. Полякова. М.: Машиностроение, 1988. 256 с.
- Бояришинов С.В., Кулешова З.Г., Шатглов А.А.** Деформации заготовок при закреплении в станочных приспособлениях и точность обработки. М.: Машиностроение, 1983. 44 с.

## Глава 4

# ВЫБОР РЕЖИМА И УСЛОВИЙ РЕЗАНИЯ. ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ИНСТРУМЕНТА

### ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫБОРА РЕЖИМА РЕЗАНИЯ

Последовательность выбора режима резания зависит от метода обработки. При точении за исходные данные принимают физико-механические свойства обрабатываемого материала, припуск и характер обработки (черновая или чистовая), по которым определяют глубину резания  $t$  и ориентировочное значение подачи  $S$ . Далее выбирают материал резца и геометрические параметры его режущей части с учетом формы обработанной поверхности; определяют подачу  $S$  и корректируют ее по паспорту станка; назначают период стойкости  $T$  резца; выбирают скорость резания  $v$ , рассчитывают рекомендуемую частоту вращения  $n$  шпинделя станка (с учетом диаметра  $d$  детали) и уточняют ее по паспорту станка; по принятой частоте вращения шпинделя уточняют скорости резания и проверяют выбранный режим по мощности резания:  $N_{рез} \leq 1,2 N_{дв} \eta$ , где  $N_{дв}$  и  $\eta$  — соответственно мощность двигателя и КПД станка.

Для сверления принята следующая последовательность определения режима резания: по глубине и диаметру обрабатываемого отверстия выбирают серию сверла, а в зависимости от физико-механических свойств обрабатываемого материала — форму заточки режущей части сверла и геометрические параметры заточки; по нормативам и с учетом требуемой точности обработки и характеристики технологической системы принимают группу подач  $S$  и корректируют подачу в соответствии с паспортом станка; назначают средний период стойкости сверла; определяют скорость резания  $v$  и корректируют ее по паспорту станка. Найденная осевая сила и мощность резания не должны превышать, соответственно, допустимого усилия подачи станка и мощности двигателя.

Назначение режима резания при зенкеро-вании и развертывании начинают с определения на основании требуемых точности и шероховатости обработанной поверхности места зенкера или развертки в наборе последовательно работающих инструментов и глубины резания  $t$ . После этого уточняют конструктивно-геометрические параметры зенкера или развертки (в соответствии с

физико-механическими свойствами обрабатываемого материала), выбирают группу подач с учетом последующей обработки отверстия и по его диаметру определяют подачу  $S$ , находят технологическую скорость резания.

Для фрезерования параметры режима резания определяют в такой последовательности: по глубине и ширине фрезерования, а также на основании паспортных данных станка выбирают конструктивные параметры фрезы, учитывая физико-механические свойства обрабатываемого материала, подбирают материал инструмента, назначают геометрические параметры фрезы и выбирают фрезу по ГОСТу; далее определяют: подачу на зуб  $S_z$  (с учетом способа крепления и вылета фрезы, числа ее зубьев и требуемой шероховатости обработанной поверхности), скорость резания  $v$ , частоту вращения  $n$  шпинделя и минутную подачу  $S_m$ .

Параметры режима резания при точении, сверлении, зенкеро-вании, развертывании, фрезеро-вании, строгании и долблении приведены в гл. 6—10.

### ВЫБОР МАТЕРИАЛА ДЛЯ ИНСТРУМЕНТА

Марку твердого сплава, быстрорежущей стали или сверхтвердого материала в зависимости от обрабатываемого материала, фирмы-изготовителя и условий работы инструмента определяют по табл. 1—12.

По классификации ИСО 513—75 различают твердые сплавы:

*группы М*, предназначенные для обработки: аустенитных, высокомарганцовистых, тепло- и жаропрочных высоколегированных сталей, стального литья, автоматных сталей и титановых сплавов;

*группы К*, предназначенные для обработки: различных видов чугунов и других материалов, дающих стружку излома, а также закаленных сталей, цветных металлов и их сплавов, пластмасс, стеклопластиков и древесины;

*группы Р*, предназначенные для обработки: нелегированных, легированных и высоколегированных сталей, мартенситно-ферритных коррозионно-стойких сталей, стального литья и других материалов, дающих сливную стружку.

## 1. Сравнительные эксплуатационные свойства твердых сплавов

Марка	Эксплуатационные свойства
ВКЗМ	Очень высокая износостойкость и наивысшая допустимая скорость резания, умеренные эксплуатационная прочность, сопротивляемость ударам, вибрациям и выкрашиванию. По сравнению с другими вольфрамовыми сплавами обеспечивает наибольшую производительность; при точении закаленных сталей допускаются скорости резания до 150 м/мин
ВК4	Высокие износостойкость и эксплуатационная прочность; хорошо сопротивляется ударам, вибрациям и выкрашиванию. Эксплуатационный период стойкости больше в 1,5...2,5 раза, чем у сплава ВК6, и в 2...4 раза, чем у сплава ВК8. При черновом точении серого чугуна допускаются скорости резания до 150 м/мин
ВК6	Высокие износостойкость и допустимая скорость резания, но меньшие, чем у сплава ВК4. Эксплуатационные прочность и сопротивляемость ударам, вибрациям и выкрашиванию выше, чем у сплава ВКЗМ. При черновом точении серого чугуна допускаются скорости резания до 135 м/мин
ВК6М ВК6ОМ	За счет более мелкозернистой структуры износостойкость выше, чем у сплава ВК6, при несколько меньшей эксплуатационной прочности и сопротивляемости ударам, вибрациям и выкрашиванию. При точении коррозионно-стойких сталей аустенитного класса допускаются скорости резания до 120 м/мин
ВК8	Более высокие эксплуатационные прочность и сопротивляемость ударам, вибрациям и выкрашиванию, чем для сплава марки ВК6, при меньших износостойкости и допустимой скорости резания. При черновом точении серого чугуна допускаются скорости резания до 125 м/мин
ВК8В	За счет более крупнозернистой структуры эксплуатационные прочность и сопротивляемость ударам, вибрациям и выкрашиванию выше, чем у сплава ВК8, при меньшей износостойкости
ВК10 ВК15	Те же, что и у сплава марки ВК8В, при меньшей допустимой скорости резания
Т30К4	Наивысшие для титановольфрамовых сплавов износостойкость и допустимая скорость резания при пониженных эксплуатационной прочности и сопротивляемости ударам, вибрациям и выкрашиванию. При чистовом точении стали допускаются скорости резания до 500 м/мин
Т15К6	Износостойкость и допустимая скорость резания ниже, чем для сплава Т30К4, при больших эксплуатационной прочности и сопротивляемости ударам, вибрациям и выкрашиванию. При точении стали допускаются скорости резания до 400 м/мин
Т14К8	Эксплуатационные прочность и сопротивляемость ударам, вибрациям и выкрашиванию выше, чем у сплава Т15К6, при меньших износостойкости и допустимой скорости резания. При чистовом точении стали допускаются скорости резания до 200 м/мин
Т5К10	Эксплуатационные прочность и сопротивляемость ударам, вибрациям и выкрашиванию выше, чем у сплава Т14К8, при меньших износостойкости и допустимой скорости резания. При черновом точении стали допускаются скорости резания до 150 м/мин (на 15 % выше, чем при работе сплавом ВК8)
Т5К12В	Эксплуатационные прочность и сопротивляемость ударам, вибрациям и выкрашиванию значительно выше, чем у сплава Т5К10, при меньших износостойкости и допустимой скорости резания. По сравнению с инструментом из быстрорежущей стали позволяет повысить скорость резания не менее чем в 2 раза при сохранении сечения срезаемого слоя
ТТ7К12	Те же, что у сплава Т5К12В, при несколько большей эксплуатационной прочности

## 2. Характеристики и области применения твердых сплавов зарубежного производства

Обозначение фирмы GUTHRING	Содержание компонентов, %			Твердость, HV	Предел прочности при разрыве, Н/мм <sup>2</sup>	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Классификация по ИСО 513-75	Характеристики и области применения
	WC	Co	TiC + Ta(Nb)C					
DB100	94,00	6,00	-	1440	2400	14,95	B10	Горнорудная и гражданская промышленность. Применяется при производстве дорожных работ и резании асфальта, для сверл при строительных работах, фрезеровании и резании камня
DB300	90,50	9,50	-	1230	2800	14,50	B30	Горнорудная и гражданская промышленность. Для применения в режущих пиках и плоских бурах при добыче угля
DB500	86,50	13,50	-	1100	2500	14,15	B50	Горнорудная и гражданская промышленность. Для применения в режущих пиках и бурах в форме круглого вала при добыче обедненного угля и обработке скальных пород средней твердости
DB500SG	86,50	13,50	-	930	2400	14,15	B50	Горнорудная и гражданская промышленность. Подходит для применения при тяжелых условиях обработки очень твердых скальных пород и угля
DG100	93,00	7,00	-	1460	3000	14,85	G10	Высокая износостойкость. Для кольцевых и профилированных режущих инструментов, режущих роликов, калнбрующихся фнльер, пен-тровочных сверл
DG100Ni	91,00	9,00	-	1600	2000	14,60	G10/K10	Коррозионно-стойкий твердый сплав, специально разработанный для применения в химической промышленности



Продолжение табл. 2

Обозначение фирмы GUHRING	Содержание компонентов, %			Твердость, HV	Предел прочности при разрыве, Н/мм <sup>2</sup>	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Классификация по ИСО 513-75	Характеристики и области применения
	WC	Co	TiC + Ta(Nb)C					
DG150	91,50	8,50	—	1500	2800	14,75	* K20/K30	Высокая износостойкость при средней прочности. Преимущественно для прессующих, шлифовальных и режущих колец
DG200	89,00	11,00	—	1310	3000	14,40	G20	Высокая износостойкость при средней прочности. Для грубчатых и прутковых рснующих, и силовых прессующих инструментов, а также для валков холодной прокатки
DG300	85,00	15,00	—	1170	3000	14,00	G30	Высокая износостойкость при хорошей прочности. Для грубчатых и прутковых рснующих инструментов
DG400	80,00	20,00	—	1020	3000	13,55	G40	Очень высокие износостойкость и прочностные свойства. Для волоочных фнльер, оправок, калнбровочных колец большого диаметра
DG550	73,00	27,00	—	870	3000	12,95	G50/G60	Особенно подходит для производства винтов, инструментов сдвнгового и глубокого волоочения для толстостенных деталей
DK100	91,5	6,00	2,50	1690	2600	14,85	K10	Универсальный тип, высокая износостойкость. Для обработки материалов, дающих короткую стружку, а также деталей, подверженных износу
DK120	94,00	6,00	—	1620	3100	14,95	K15/K20	Мельчайшая зернистость с высокими износостойкостью. Для спиральных сверл, концевых фрез, твердосплавных буров, зенковок, центровых сверл и т.д.

Окончание табл. 2

Обозначение фирмы GUTHRING	Содержание компонентов, %			Твердость, HV	Предел прочности при разрыве, Н/мм <sup>2</sup>	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Классификация по ИСО 513-75	Характеристики и области применения
	WC	Co	TiC + Ta(Nb)C					
DK120F	92,00	6,00	2,00	1870	3000	14,80	K05/K10	Мельчайшая зернистость с чрезвычайно высокой износостойкостью и высокой прочностью. Подходит для любого типа вращающихся инструментов
DK250F	90,50	8,00	1,50	1700	3200	14,60	K20	Мельчайшая зернистость с высокой износостойкостью и повышенной прочностью на растяжение режущих кромок. Подходит для инструментов для обработки серого чугуна, отбеленного чугуна и наполненных пластмасс
DK400N	90,00	10,00	-	1580	3200	14,50	K20/K40	Сверхмельчайшая зернистость с максимальной прочностью для вращающихся инструментов, особенно черновых концевых фрез
DK460UF	90,00	10,00	-	1620	3700	14,50	K30/K40	Особосверхмельчайшая зернистость с максимальной прочностью, для любой разновидности вращающихся инструментов
DK500UF	88,00	12,00	-	1640	3700	14,15	K40	Сверхмельчайшая зернистость с максимальной прочностью для вращающихся инструментов, особенно черновых концевых фрез
DP450	77,00	11,00	12,00	1420	2500	13,05	P40/P45	Презвычайно высокая прочность в сочетании с высокой износостойкостью. Для обработки материалов, дающих длинную стружку, особенно аустенитных сталей

## 3. Марки твердого сплава

Группы применения по ISO		Обработка		Обозначение		Свойства		Покрытие												
									Маркировочный цвет	Основная группа	Подгруппа	Фирма	Фирменное	σ <sub>ср</sub> , Н/мм <sup>2</sup>	HV (HRA)					
Синий	P	Обрабатываемый материал, вид и условия применения	Чистовая обработка незакаленных и закаленных углеродистых сталей с малыми сечениями среза (точение, развертывание, нарезание резьбы)	Финишная и чистовая обработка сталей	Чистовое точение сталей	Чистовая обработка всех видов сталей, кроме коррозионно-стойких	Чистовое и полунчтовое точение, фрезерование, растачивание и т.п. углеродистых и легированных сталей	Чистовая и полунчтовая обработка сталей	Финишная и чистовая обработка сталей	Обработка легированных сталей	Чистовая и полунчтовая обработка всех сталей, кроме жаропрочных и коррозионно-стойких	Высокая износостойкость при обработке длинно-стружечных материалов на высоких скоростях	P01	P	T30K4	T30K4	K3TC	1176	(92,0)	—
															IC9015	IC9015	Iscar	2300	1480	CVD TiCN + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + TiN
	GC4015														GC4015	Sandvik	—	—	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + TiN	
	TT1														TT1	Widia	—	—	TiC-TiN Basis + Nb/Co	
	CPX														CPX	Hertel	—	—	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + TiN	
	T15K6														T15K6	K3TC	1176	1350 (90,0)	—	
	IC300														IC300	Iscar	2000	1580	TiCN + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + TiN	
	GC4025														GC4025	—	—	—	Ti (C, N) + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + TiN	
	GC4015														GC4015	Sandvik	—	—	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + TiN	
	TT3K10														TT3K10	TTX	1500	1700	—	
—	—	13E CW2	—	—	TiN + Ti (C, N) + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>															
TT35K10	TT35K10	DP100	1550	1800	—															
—	—	PC230	—	—	Ti (C, N)															

## Машиностроение

Продолжение табл. 3

Группы применения по ISO			Обработка	Фирма	Свойства		Покрытие			
Маркрово- войный цвет	Основная группа	Под- группа			σ <sub>ср</sub> , Н/мм <sup>2</sup>	HV (HRA)				
Синий	P	P20	Обрабатываемый материал, вид и условия применения	по ГОСТ	фирменное					
			Черное и полунитовое точение, фрезерование, рассверливание литых и кованных заготовок из углеродистых и легированных сталей	T14K8	T14K8	K3TC	1274	1325 (89,5)	-	
			Чистовая и полунитовая обработка сталей		ST30A	Korloy	2000	(91,0)		
			Чистовая и полунитовая обработка жаропрочных и коррозионно-стойких сталей в тяжелых условиях		GC4025	Sandvik	-		Ti (C, N) + + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + TiN	
			Обработка всех сталей, кроме жаропрочных и коррозионно-стойких		GC4035				Ti (C, N) + + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
			Чистовое и полунитовое точение сталей		CM3	Hertel			TiN	
			Чистовое и полунитовое точение сталей		TTS		2200	1450		
			Чистовое и полунитовое фрезерование сталей		TTM	Widia	2100	1500		
			Фрезерование высокопрочных сталей		DP250	Guhring	2200	1450		
			Фрезерование стального литья, ковкого чугуна		TT18K10	TT20K9	K3TC	1470	(89,0)	Ti (C, N) + + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + TiN
P25	P	P25	Чистовая и полунитовая обработка сталей		CT25	Sandvik	-			
			Чистовая и полунитовая обработка в тяжелых условиях стального литья и поковок		CT35					
			Полунитовое точение углеродистых и легированных сталей		PS130	Korloy				Ti (C, N)
			Полунитовое фрезерование углеродистых и легированных сталей		TTS		2200	1450		
			Фрезерование; высокая прочность		TTM	Widia	2100	1500		
					DP250	Guhring	2200	1450		

Группы применения по ISO		Обработка	Обозначение		Фирма	Свойства		Покрытие			
Маркировочный цвет	Основная группа		по ГОСТ	фирменное		$\sigma_{\text{нр}}$ , Н/мм <sup>2</sup>	HV (HRA)				
Синий	Р	Обработка поковки, вид и условия применения	Т5К10	T5K10	K3TC	1421	(88,5)	-			
				IC9025		Iscar	2000		1580		
				GC4025		Sandvik	-		-		
				GC4035			-		-		
				TTS		Widia	2200		1450		
	TTM	2100	1500								
	Р40	Обработка легированных сталей, в т. ч. по корке и окалине	ТТ18К9	ТТ18К9	DP300	Guhring	2200	1540	-		
					T5K12		K3TC	1666		1100	
					TT7K12			1421		(88,5)	
					T5K10		Sandvik	GC4035		Widia	-
TTR					-			-			

Продолжение табл. 3

Группы применения по ISO			Обработка	Фирма	Свойства		Покрытие
Маркировочный цвет	Основная группа	Подгруппа			$\sigma_{\text{исп.}}$ , Н/мм <sup>2</sup>	HV (HRA)	
Синий	P	P40	Обработка всех сталей, кроме жаропрочных и коррозионно-стойких по корке	Hertel	-	-	TiN + Ti(C, N) + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + TiN
			Точение и фрезерование аустенитных сталей. Высокая стойкость и вязкость	Gühring	2500	1420	
Желтый	M	P50	Тяжелое черное точение, фрезерование, строгание отливок, штамповок, поковок из углеродистых и легированных сталей	K3TC	1666	1100 (87,0)	-
		M05	Чистовая и полунитовая обработка твердых легированных и отбеленных чугунов, закаленных, жаропрочных сталей и сплавов на основе титана и вольфрама	K3TC	1274	(905)	
		M10	Получистовая обработка жаропрочных, аустенитных сталей, закаленных чугунов, бронз, абразивных неметаллических материалов, стекла, бумаги, пластмасс		1421	(90,0)	
			Обработка коррозионно-стойких сталей	Sandvik	-	-	Ti(C, N) + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + TiN
			Чистовая и полунитовая обработка стали				
			Чистовое точение высоколегированной стали, серого и легированного чугуна	Widia	1750	1750	-
			Чистовое и полунитовое точение и фрезерование легированной стали и ковкого чугуна	Gühring	2000	1500	



Продолжение табл. 3

Группы применения по ISO		Обработка	Обозначение		Фирма	Свойства		Покрытие	
Маркировочный цвет	Основная группа		по ГОСТ	фирменное		$\sigma_{инт}$ , Н/мм <sup>2</sup>	HV (HRA)		
Желтый	М	М40	Обрабатываемый материал, вид и условия применения						
			Черновая и получистовая обработка твердых, легированных чугунов, сталей и сплавов на основе титана, молибдена, вольфрама; монолитный мелкозернистый инструмент	ВК100М	ВК100М	КЗТС	1470	(88,5)	-
			Тяжелое черниковое точение, строгание, фрезерование стальных поковок, отливок, штамповок по корке с раковинами, шлаком углеродистых и легированных сталей	ТТ7К12	ТТ7К12		1666	(87,0)	
			Черниковая обработка коррозионно-стойких сталей		GC2035	Sandvik	-	-	Ti (C, N) + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + TiN
Красный	К	K01	Черниковое точение жаропрочных и коррозионно-стойких сталей		CM5	Hertel			
			Чистовое точение, иарезание резб, развертывание серого чугуна, цветных металлов, резка стекла, резины	ВК3	ВК3	КЗТС	1176	(89,5)	-
			Чистовое точение, растачивание, иарезание резбы, развертывание твердых, легированных чугунов, закаленных сталей, коррозионно-стойких материалов	ВК3М	ВК3М		1176	(91,0)	
			Окончательная обработка чугунов		H10, G10	Korloy	-	(90,8)	TiN + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Ti (C, N)
			Мелкозернистый и износостойкий сплав для точения и фрезерования		TiN	Sandvik	1600	1750	
			Окончательная обработка чугунов	ВК5	DK050F	Guhring	2500	1800	



Продолжение табл. 3

Группы применения по ISO		Обработка	Обозначение		Фирма	Свойства		Покрытие	
Маркировочный цвет	Основная группа		по ГОСТ	фирменное		$\sigma_{\text{ср}}$ , Н/мм <sup>2</sup>	HV (HRA)		
Красный	К	Обработка приемлемый материал, вид и условия применения	К10	ВК4	ВК4	КЗТС		—	
				—	PC215K	Korloy		TiN	
				—	GC3005	Sandvik		TiN + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Ti (C, N)	
				—	GC3015				
				ВК6	ТНМ	Widia	2000	1600	
				ТЗК6	DK100	Gühring	2600	1690	
				ТТЗК6	DK120		3000	1870	
				ВК6	ВК6	КЗТС	1519	(88,5)	
				—	IC418	Iscar		1745	CVD TiC + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
				—	PC105	Korloy			Ti (C, N)
—	GC3025	Sandvik			—				
—	GC3015				Ti (C, N) + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + TiN				
		Чистовая и получистовая обработка чугуна	ВК6М	ТНМ	Widia				

Продолжение табл. 3

Группы применения по ISO		Обработка	Обозначение		Фирма	Свойства		Покрытие	
Маркировочный цвет	Основная группа		по ГОСТ	фирменное		$\sigma_{\text{кр}}$ , Н/мм <sup>2</sup>	HV (HRA)		
Красный	К	К30	BK8	BK8	K3TC	1666	(87,5)	-	
				IC910					Iscar
	Фрезерование, сверление труднообрабатываемых сталей и сплавов на высоких скоростях	Черниковое точение, фрезерование серого чугуна, жаропрочных и коррозионно-стойких сталей	-	GC3024	Sandvik	-	-	-	TiN + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Ti (C, N)
				GC1020					
	Черниковая обработка чугунов	Черниковая обработка сталей и чугунов	BK9	THR	Widia	2350	1450	-	
			T2K10	DK350F	Guhring	3600	1590	-	
	K40	Черниковое фрезерование цветных металлов, жаропрочных и труднообрабатываемых сталей и сплавов	BK8	BK8	K3TC	1666	(87,5)	-	
			-	IC928	Iscar	-	-	PVD TiAlN	
	Режущий инструмент для обработки дерева	Черниковая обработка сталей и чугунов	BK15	BK15	K3TC	1862	(86,0)	-	
			BK9	GC1025	Sandvik	-	-	TiN	
Мелкозернистая и износостойкая марка	Обработка титановых сплавов	BK9	THR	Widia	2350	1450	-		
		BK10	DK400F	Guhring	3000	1550	-		
Обработка чугуна, сплавов, легированных титаном, жаропрочных сплавов	T2K10	DK350F	3600		1590	-			

Продолжение табл. 3

Область применения, характеристика	Обозначение		Фирма	Свойства		Примечание	
	по ГОСТ	фирменное		$\sigma_{\text{ср.}}$ , Н/мм <sup>2</sup>	HV (HRA)		
Горная и строительная индустрия	BK6	BK6	КЗТС	1519	(88,5)	-	
		TNM (1990)	Widia	2000	(93,0)		
		TNM-F		3000	(93,2)		
		DB100	Gubring	2400	1440 (909)		
	DB120	3100		1620 (92,2)	Мелкозернистый		
	BK8	BT15	Widia	2300	1250 (88,7)	Изостатическое горячее прессование	
		BK8	КЗТС	1690	(87,5)	-	
	BK9,5	DB300S	Gubring	2800	1230 (88,5)	-	
		BK9	THR (1990)	Widia	2350	1450 (90,9)	Мелкозернистый
	BK9	DB300	Gubring	2800	1230 (88,5)	-	
BK9		GT2H	Widia	2700	1400 (90,4)	Изостатическое горячее прессование	
BK8BK		KB8BK	КЗТС	1764	(87,5)	-	
Для вставок в уличные и асфальтовые фрезы, сверла для сверления стен. Для буровых инструментов, палевых фрез, зенкеров. Высокая износостойкость	BK9,5	DB300	Gubring	2800	1230 (88,5)	-	
		BK9	GT2H	Widia	2700	1400 (90,4)	Изостатическое горячее прессование
		BK8BK	KB8BK	КЗТС	1764	(87,5)	-
Вставки в отрезные и строгальные машины угольной и горнорудной промышленности	BK9,5	DB300	Gubring	2800	1230 (88,5)	-	
		BK9	GT2H	Widia	2700	1400 (90,4)	Изостатическое горячее прессование
		BK8BK	KB8BK	КЗТС	1764	(87,5)	-
Вставки в прорезные и простейшие резы угольной промышленности. Высокая прочность на изгиб и высокая износостойкость	BK9,5	DB300	Gubring	2800	1230 (88,5)	-	
		BK9	GT2H	Widia	2700	1400 (90,4)	Изостатическое горячее прессование
		BK8BK	KB8BK	КЗТС	1764	(87,5)	-

Окончание табл. 3

Область применения, характеристика	Обозначение		Фирма	Свойства		Примечание
	по ГОСТ	фирменное		$\sigma_{\text{ср}}, \text{H/mm}^2$	HV (HRA)	
Стержневые и круглые резцы в нечистых углях и горючих породах средней твердости. Высокая прочность на изгиб и высокая износостойкость	ВК13,5	DB500	Guhring	2500	1100 (86,9)	-
	ВК10	BT25	Widia	2650	1200 (88,2)	Изостатическое горячее прессование. Крупнозернистый сорт
	ВК13	H13C	Sandvik	2700	1070 (86,5)	Крупнозернистый сорт
	ТТ2К12	GT3H	Widia	2900	1250 (88,7)	Изостатическое горячее прессование
Для тяжелых условий, твердых и очень загрязненных углей и горючих пород	ВК13,5	DB500SG	Guhring	2400	930 (85,0)	
	ВК13	H13N	Sandvik	2900	1240 (88,6)	
	ВК11В	ВКТ1В	КЗТС	1960	(86,0)	
Отрезные резцы для тяжелых условий при подземных разработках в угольной промышленности. Высокая ударная прочность и износостойкость	ВК13,5	ТНА-F	Widia	3400	1500 (91,4)	Мелкозернистый
	ВК15	DB550	Guhring	2500	1030 (86,5)	
		ВК15	КЗТС	1862	(86,0)	

Примечания: 1. CVD – химический тип покрытия; PVD – физический тип покрытия.

2. КЗТС – Кировградский завод твердых сплавов, Россия; Iscar – Израиль; Sandvik – Швеция; Widia, Herten, Guhring – Германия; Korloy – Южная Корея.

## 4. Рекомендуемые марки твердых сплавов для инструментов, используемых при обработке резанием различных материалов

Обработка	Характер и условия обработки	Обрабатываемый материал										Неметаллические материалы
		Углеродистые и легированные стали	Труднообрабатываемые материалы	Коррозионно-стойкие стали	Закаленные стали	Титановые сплавы	Чугуны, HB ≤ 240	Чугуны высокой твердости, HB ≤ 700	Цветные металлы и сплавы			
На станках токарной группы	Черниковое точение по ковкам, штамповок и отливок по корке и окалине при неравномерном сечении срезанного слоя и прерывистом резании с ударами	T5K10; T5K12B; BK8; BK8B	T5K12B; T7K12; BK8; BK8B	T5K12B; BK8B; BK8	-	BK8; BK8B BK4	BK8; BK8B; BK4	BK8; BK8B; BK4	BK4; BK6; BK8	-		
		T14K8; T5K10	BK4; BK8; BK8B	BK4; BK8	-	BK4; BK8	BK4; BK8; BK6	BK6M; BK4	BK4; BK6	-		
	Черниковое точение по корке при неравномерном сечении срезанного слоя и непрерывном резании	T15K6; T14K8	T5K10; BK4; BK8	BK6M; BK4	-	-	BK4; BK8	BK4; BK8	BK3M; BK4	BK4		
		T15K6; T14K8; T5K10	BK4; BK8; BK8B	BK4; BK8	T5K10; BK4; BK8	BK4	BK4; BK6; BK8	BK6M	BK3M; BK4	BK3M; BK4		
Получистовое и чистовое точение при прерывистом резании	Получистовое и чистовое точение при непрерывном резании	T30K4; T15K6	-	BK6M	T14K8; T5K10; BK4	BK4	BK3M; BK4	BK6M	BK3M; BK4	BK3M; BK4		
		T30K4; T15K6	T14K8; T5K10; BK4	BK6M; BK3M	T15K6; T14K8; T5K10; BK6M	BK4; BK6M; BK3M	BK3M; BK4	BK6M; BK3M	BK3M; BK4	BK3M		

Продолжение табл. 4

		Обрабатываемый материал									
Обработка	Характер и условия обработки	Углеродистые и легированные стали	Труднообрабатываемые материалы	Коррозионно-стойкие стали	Закаленные стали	Титановые сплавы	Чугуны, HB ≤ 240	Чугуны высокой твердости, HB ≤ 700	Цветные металлы и сплавы	Неметаллические материалы	
			Тоикое точение при непрерывном резании	T30K4			T30K4; T15K6; BK6M; BK3M	BK4; BK6M; BK3M	BK3M	BK6M; BK3M	BK3M
На станках токарной группы	Предварительная обработка фасонных поверхностей	T14K8; T5K10; T5K12B; BK8		-		BK4	BK4; BK6; BK8		BK4; BK6	BK6	
	Окончательная обработка фасонных поверхностей	T15K6; T14K8; T5K10				BK3M; BK4	BK3M; BK4		BK3M; BK4	BK3M	
	Отрезка и прорезка канавок		BK4; BK8; BK8B	BK6M; BK4	BK4; BK8	BK4; BK8	BK4M; BK6; BK8	BK6M	BK4; BK6; BK6M	BK3M; BK4	
На станках токарной группы	Предварительное и окончательное нарезание резьбы	T15K6; T14K8	T15K6; T14K8; BK4		BK6M	BK4	BK3M	BK6M	BK3M	BK3M	
	Окончательное нарезание резьбы	T30K4; T15K6	T30K4; T15K6; T14K8	BK6M; BK3M	BK4; BK3M	BK6M; BK3M	BK3M; BK4	BK3M	BK3M	BK3M	
Строгание и долбление	Черновая обработка	T5K12B; BK8B; BK15	T5K12B; T17K12	T5K12B; BK8B; BK15			BK8; BK8B		BK8; BK8B	BK4; BK6; BK8	
	Получистовая и чистовая обработка	T5K10; T5K12B; BK8; BK8B					BK4; BK6; BK8			BK4; BK6	

Продолжение табл. 4

Обработка	Характер и условия обработки	Обрабатываемый материал									
		Углеродистые и легированные стали	Труднообрабатываемые материалы	Коррозионно-стойкие стали	Закаленные стали	Титановые сплавы	Чугуны, HB ≤ 240	Чугуны высокой твердости, HB ≤ 700	Цветные металлы и сплавы	Неметаллические материалы	
Фрезерование	Черновая обработка	T15K6; T14K8; T5K10	T5K10; BK4; BK8	T5K12B; T5K10; T14K8	-	BK4; BK8	BK4; BK6; BK8	-	BK4; BK6; BK8	BK4	
	Получистовая и чистовая обработка	T30K4; T15K6; T14K8	T15K6; T14K8; T5K10	T15K6; T14K8	-	BK8	BK6; BK4	BK6M	BK3M; BK4	BK3M	
Сверление и рассверливание	Сплошное сверление неглубоких (нормальных) отверстий	T5K10; T5K12B; BK8; BK8B				BK8; BK8B					
	Сплошное сверление глубоких отверстий	T15K6; T14K8; T5K10; T5K12B; BK8	T5K12B; T17K12; BK8; BK8B	T5K12B; BK8B; BK8	-		BK4; BK6; BK8	BK8; BK8B	BK4; BK6; BK8	BK4	
	Кольцевое сверление глубоких отверстий	T15K6; T14K8; T5K10									
	Рассверливание неглубоких (нормальных) предварительно просверленных отверстий	T15K6; T14K8; T5K10	BK4; BK8	BK8	T14K8; T5K10; BK8	BK4; BK8	BK3M; BK4	BK6M; BK4	BK2; BK3M; BK4	BK3M	
	Рассверливание неглубоких (нормальных) отверстий в литых, кованых или штампованных заготовках	T5K10; T5K12B; BK8; BK8B	T5K12B; T17K12; BK8; BK8B	T5K12B; BK8B; BK8	-		BK4; BK6; BK8	-	BK4; BK6; BK8	-	

Окончание табл. 4

Обработка	Характер и условия обработки	Обрабатываемый материал								
		Углеродистые и легированные стали	Труднообрабатываемые материалы	Коррозионно-стойкие стали	Закаленные стали	Титановые сплавы	Чугуны, HB ≤ 240	Чугуны высокой твердости, HB ≤ 700	Цветные металлы и сплавы	Неметаллические материалы
Сверление и рассверливание	Рассверливание глубоких предварительно просверленных отверстий	T15K6; T14K8	BK4; BK8	BK8; BK4		BK3M; BK4	BK6M; BK4	BK3M; BK4	BK3M; BK4	
	Рассверливание глубоких отверстий в литых, кованных и штампованных заготовках, а также отверстий с неравномерным припуском на обработку и прерывистым резанием	T5K10; T5K12B; BK8; BK8B	T15K12B; T17K12; BK8; BK8B	T5K12B; BK8; BK4	T14K8; T5K10; BK8	BK8; BK8B; BK4			BK4; BK8; BK8B	
Зеркерование	Черновая обработка	T15K6; T14K8; T5K10; T5K12B; BK8	T5K10; BK4; BK8	BK6M; BK4		BK4; BK8	BK4; BK6; BK8	BK4; BK6; BK8	BK4; BK6; BK8	BK4; BK6
	Получистовая и чистовая обработка	T30K4; T15K6; T14K8	T15K6; T14K8; T5K10; BK6M	BK6M		BK2; BK3B; BK4	BK6M; BK4		BK3M; BK4	BK3M; BK4
Развертывание	Предварительная и окончательная обработка	T30K4; T15K6	T30K4; T15K6; BK6M; BK3M	BK6M; BK4	T30K4; BK3M; BK6M	BK4; BK6M; BK3M	BK6M; BK3M	BK3M; BK4	BK3M; BK4	

Примечание. Марки твердых сплавов приведены в порядке предпочтительности их применения.



## 5. Области применения и технологические свойства быстрорежущих сталей

Марка	Область применения и технологические свойства
P18	Черновые и чистовые режущие инструменты высокой точности – фрезы, долбяки, протяжки, метчики, шеверы для обработки конструкционных сталей с пределом прочности до 0,9 ГПа
P12	Режущие инструменты для обработки конструкционных сталей взамен марки P18
P9	Чистовые и получистовые режущие инструменты простой формы, не требующие большого объема шлифования и предназначенные для обработки конструкционных материалов с пределом прочности до 1 ГПа; сверла, изготавливаемые методами пластической деформации; деревообрабатывающие инструменты
P6M5	Все виды режущих инструментов для обработки с обычными скоростями резания углеродистых и среднелегированных конструкционных сталей с пределом прочности до 1 ГПа, а также зуборезные и резбонарезные инструменты для обработки коррозионно-стойких сталей
10P6M5	Те же, что у марки P6M5. По сравнению со сталью P6M5 имеет больший период стойкости
11P3M3Ф2Б	Ножовочные полотна, сверла, фрезы, метчики для обработки углеродистых, низколегированных конструкционных сталей и серого чугуна. Период стойкости этих инструментов примерно такой же, как у инструментов из стали P6M5; износостойкость более высокая
P18Ф2	Чистовые и получистовые режущие инструменты – резцы, фрезы, машинные развертки, сверла для обработки среднелегированных конструкционных сталей, а также некоторых марок коррозионно-стойких сталей и жаропрочных сплавов
P14Ф4	Инструменты простой формы, не требующие больших объемов шлифовальных операций, – резцы, зенкеры, развертки для обработки материалов с повышенными абразивными свойствами – стеклопластиков, пластмасс, эбонита; чистовые инструменты простой формы для обработки легированных сталей и сплавов. Обладает пониженной шлифуемостью по сравнению с марками P6M5Ф3 и P12Ф3
P12Ф3	Чистовые и получистовые фрезы, резцы, протяжки, развертки для обработки на средних режимах резания легированных сталей и сплавов, а также материалов с повышенными абразивными свойствами. Рекомендуется взамен марок P9Ф5 и P14Ф4, как сталь с лучшей шлифуемостью при примерно равных режущих свойствах, а также взамен марки P18Ф2
P9Ф5	Инструменты простой формы, не требующие больших объемов шлифовальных операций, – резцы, зенкеры, развертки – для обработки материалов с повышенными абразивными свойствами. Чистовые инструменты простой формы для обработки легированных сталей и сплавов. Обладает пониженной шлифуемостью и пониженными технологическими свойствами по сравнению со сталями P6M5Ф3 и P12Ф3
P6M5Ф3	Преимущественно чистовые фасонные резцы, развертки, протяжки для обработки конструкционных легированных и улучшенных сталей и сплавов

*Продолжение табл. 5*

Марка	Область применения и технологические свойства
P18K5Ф2	Различные инструменты – резцы, фрезы, сверла (в основном получистовые и черновые) – для обработки углеродистых и легированных конструкционных сталей на повышенных режимах резания и конструкционных материалов с повышенной твердостью, коррозионно-стойких сталей и жаропрочных сплавов
P18Ф2К8М	Сверла, зенкеры, фрезы, метчики для обработки наиболее труднообрабатываемых жаропрочных сплавов и прочных сталей с высокой твердостью
P12Ф4К5	Резцы, фрезы, зенкеры, развертки для обработки различных труднообрабатываемых материалов. Имеет лучшую шлифуемость и несколько более высокие режущие свойства, чем сталь P10K5Ф5
P12M3Ф2K8	Сверла, зенкеры, фрезы, протяжки, метчики, предназначенные для обработки труднообрабатываемых жаропрочных сплавов, коррозионно-стойких и высокопрочных сталей взамен стали марки P18Ф2К8М; автоматные резцы, в том числе фасонные инструменты, работающие на высоких скоростях резания для обработки обычных конструкционных материалов взамен малотехнологичной стали P10M4Ф3K10
P10M4Ф3K10	Инструменты для получистовых и чистовых операций резания, выполняемых в основном на автоматических станках, а также инструменты простой формы для обработки труднообрабатываемых материалов. Имеет более низкие технологические свойства по сравнению со сталью P12M3Ф2K8
P10Ф5K5	Чистовые и получистовые инструменты – резцы, фрезы, зенкеры, развертки – для обработки труднообрабатываемых материалов. Имеет более низкие шлифуемость и режущие свойства по сравнению со сталью P12Ф4K8
P9K5	Черновые и получистовые режущие инструменты – фрезы, долбяки, метчики – для обработки углеродистых и легированных конструкционных сталей на повышенных режимах резания, а также различных труднообрабатываемых материалов. Период стойкости этих инструментов более низкий, чем инструмента из сталей P6M5K5 и 10P6M6K5
P9K10	Резцы, червячные фрезы, зенкеры для обработки на повышенных режимах резания углеродистых и легированных конструкционных сталей, а также труднообрабатываемых материалов. Имеет более низкие вязкость и режущие свойства по сравнению со сталью P9M4K8
P9M4K8	Различные виды инструментов для обработки жаропрочных сплавов, легированных конструкционных сталей с повышенной твердостью, а также коррозионно-стойких, углеродистых и легированных сталей на высоких режимах резания; изготовление высокопроизводительных зуборезных инструментов в тех случаях, когда применение сталей P6M5K5 и P9K10 недостаточно эффективно
P8M3K6C	Инструменты несложной формы – резцы, зенкеры, фрезы – для обработки углеродистых и легированных сталей на повышенных режимах резания и труднообрабатываемых материалов. Имеет пониженную прочность и вязкость по сравнению со сталью P9M4K8

Окончание табл. 5

Марка	Область применения и технологические свойства
P6M5K5	Основная быстрорежущая сталь повышенной производительности, применяемая при изготовлении черновых и получистовых инструментов – фрез, долбяков, зенкеров, метчиков, плашек, предназначенных для обработки углеродистых и легированных конструкционных сталей на повышенных режимах резания, а также коррозионно-стойких сталей и жаропрочных сплавов. Рекомендуется взамен стали P18K5Ф как более экономичная и взамен стали P9K5, так как имеет лучшие режущие свойства
10P6M5K5	Сложнопрофильные и резьбоиарезные инструменты (в том числе метчики с мелким шагом) для обработки углеродистых и легированных конструкционных сталей на повышенных режимах резания, а также различных труднообрабатываемых материалов. Имеет лучшую шлифуемость по сравнению с другими сталями повышенной производительности и более высокие режущие свойства, чем стали P9K5, P6M5K5 и P9K10

Примечания: 1. ГОСТ 19265–73 (в ред. 1991 г.) предусматривает 10 марок быстрорежущей стали: P18, P6M5, 11P3AM3Ф2, P6M5Ф3, P12Ф3, P18K5Ф2, P9K5, P6M5K5, P9M4K8, P2AM9K5.

2. По требованию потребителя изготавливают стали марок P6M5 и P6M5Ф3 с легированием азотом (массовая доля азота 0,05...0,10 %). В этом случае обозначения марок – P6AM5 и P6AM5Ф3.

Применяются следующие размеры зерен твердых сплавов качества К:

Нормальный размер зерен	< 1,5 мкм
Мелкие зерна	< 1,0 мкм
Мельчайшие зерна	< 0,7 мкм
Сверхмелкие зерна	< 0,5 мкм
Нанометровые зерна	< 0,1 мкм

В настоящее время твердые сплавы качества Р не могут производиться зернистостью мельче 1,5 мкм.

При выборе зернистости твердого сплава учитывают следующие особенности стружкообразования:

– чем мельче размер зерна, тем более прочным является инструмент, а это делает возможным его применение при нестабильных условиях резания;

– чем мельче размер зерна, тем острее можно затачивать режущие лезвия (минимизировать величину радиуса округления режущей кромки). Это позволяет применять инструменты из твердого сплава наравне с инструментами из быстрорежущих сталей.

Твердые сплавы качества Р в настоящее время производят в основном потому, что пользователи зачастую не могут повторно нанести покрытия на инструменты с твердыми сплавами качества К после перешлифовки.

Целенаправленный подбор легирующих элементов *быстрорежущей стали* обеспечивает работу инструмента в оптимальных условиях применительно к каждой конкретной задаче. При этом:

*вольфрам* – повышает износостойкость и возможности термообработки;

*молибден* – заменяет вольфрам, однако при повышении содержания дает разнотернистость структуры и повышенную хрупкость лезвия;

*ванадий* – повышает износостойкость инструмента при отделочной обработке, но резко снижает их шлифуемость и повышает вероятность прижога;

*кобальт* – обеспечивает возможность применения повышенных температур закалки, увеличивает теплостойкость и теплопроводность.

6. Быстрорежущие стали зарубежного производства

Обозначение фирмы GURRING	Обозначение стали в Германии	Код стали	Области применения	Твер- дость, HV	Состав, %	Сопоставимые стали			
						США	Франция	Италия	Велико- британия
HSS	S 6-5-2 (DMo5)	1.3343	Наиболее распространенный инст- рументальный материал для общего применения	820...900	0,9 C; 4,2 Cr; 5,0 Mo; 2,0 V; 6,5 W	M2	Z90 WDCV 06-05-04-02	HS 6-5-2	BM2
HSCOHSS-E	S 6-5-2-5 (EMo5Co5)	1.3243	Высокая теплостойкость, особенно подходит для черновой обработки или работы без охлаждения	850...900	0,9 C; 4,2 Cr; 5,0 Mo; 2,0 V; 6,5 W; 4,8 Co	M35	Z90 WDKCV 06-05-05-04-02	HS 6-5-2-5	BM35
HSS-E	S 6-5-3 (EMo5V3)	1.3344	Повышенная стойкость режущей кромки, что важно для операций чистовой обработки или для инст- рументов с функционально- чувствительными режущими кром- ками, например для метчиков	—	1,2 C; 4,2 Cr; 5,0 Mo; 3,0 V; 6,5 W	M3	Z120 WDCV 06-05-04-03	HS 6-5-3	—
M42HSS-E	S 2-10-1-8	1.3247	Чрезвычайно прочны, поэтому также подходят для операций пре- рывистого резания	860...920	1,1 C; 4,2 Cr; 10,0 Mo; 1,2 V; 1,8 W; 8,0 Co	M42	Z110 DKCWV 09-08-04-02-01	HS 2-9-1-8	BM42
PM HSS-E	S 6-5-3-9 (ASP 30)	1.3207	Весма плотная структура, высокие твердость, теплостойкость и кром- костойкость	875...925	1,3 C; 4,2 Cr; 5,0 Mo; 3,1 V; 6,4 W; 8,5 Co	CPM145	—	—	—

### 7. Марки быстрорежущей стали для инструментов, используемых при различных видах обработки резанием

Обрабатываемый материал, условия обработки	Точение	Нарезание резьбы		Зенкерование, развертывание, протягивание	Фрезерование
		метчиком	плашкой		
Углеродистые конструкционные стали	P6M5; 10P6M5	P6M5; P9Ф5	P6M5	P14Ф4; P9Ф5	P6M5, 10P6M5
То же, при работе в условиях динамических нагрузок с большими подачами	P18K5Ф2; P9K10	—	—	—	P18; P9; P12
Конструкционные легированные стали	P9K5; P9M4K8; 11P3AM3Ф2; 10P6M5	P6M5	P6M5	P9Ф5; P14Ф4	10P6M5
Чугуны всех марок	P9; P12; P6M5Ф3	10P6M5		P14Ф4	P6M5
Цветные сплавы типа алюминидовых, медных, магниевых	P6M5; 10P6M5				

Примечание. Марки быстрорежущей стали приведены в порядке предпочтительности их применения.

Особо высокая твердость и высокая теплостойкость *сверхтвердых инструментальных материалов* обеспечивают повышенную производительность благодаря возможности применять высокие скорости резания. Недостаток сверхтвердых инструментальных материалов — их низкая прочность на изгиб. Экономически обоснованное использование возможно только на станках с повышенной жесткостью и для специфических областей применения.

В соответствии с ИСО 513–75 различают следующие сверхтвердые материалы:

- керамика: оксидная керамика на основе  $Al_2O_3$  (CA); композитная керамика + карбид металла (CM); нитридная керамика на основе  $Si_3N_4$  (CN); керамика с покрытием (CC);

- нитрид бора: поликристаллический кубический нитрид бора (CN (CBN));

- алмаз: поликристаллический алмаз (DP (PCD)).

Поликристаллический алмаз состоит из 80...90 % из алмаза, который спечен с основой из карбида вольфрама, в результате высокотемпературного синтеза при высоком давлении (давление 6 ГПа, температура 1200...1400 °С), причем кобальт служит в качестве катализатора для роста зерен. Размер зерен алмаза варьируется в пределах между 2 мкм (мелкое зерно), 10 мкм (среднее зерно) и 25 мкм (грубое зерно).

Поликристаллический алмаз обычно применяют в тех случаях, когда карбид вольфрама не обеспечивает желаемого качества обработанной поверхности, не в состоянии работать при заданных скоростях резания или не обеспечивает приемлемого периода стойкости при обработке материалов, указанных в табл. 13. Возможно применение поликристаллического алмаза при обработке синтетических материалов с волокнистыми наполнителями, обладающих высокими абразивными свойствами, а также различных композиционных материалов: карбидов вольфрама, керамики, органических стекол, заменителей асбеста и т.д.

Инструменты, имеющие режущие кромки из поликристаллического алмаза, при обработке цветных металлов и сплавов работают нормально на скоростях резания, превышающих в несколько раз возможные скорости резания при обработке инструментами из карбида вольфрама. Столь высокие скорости резания уменьшают наростообразование и вследствие этого — риск поломки. Оптимальные скорости резания всегда должны определяться на основе испытаний. Период стойкости инструмента, в частности при обработке сплавов Al–Si, повышается по меньшей мере в 20 раз, а зачастую — в 100 раз.

## 8. Марки быстрорежущей стали для изготовления различных видов режущих инструментов повышенной производительности

Обрабатываемый материал	Вид инструмента							
	Резцы	Сверла	Зенкеры	Развертки	Протяжки	Метчики	Фрезы всех типов	Червячные фрезы
Конструкционные углеродистые и легированные стали, чугуны, цветные сплавы (HB ≤ 255)	P6M5K5; P12Ф2К8М3	P6M5K5; P9M4K8	P6M5Ф3	P6M5Ф3	P6M5Ф3; P6M5K5	—	P6M6K5; P9K5	
Конструкционные легированные и улучшенные стали, чугуны молибденостойкие (HB > 225), коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные стали	P9M4K8; P12Ф2К8М3; P6M5K5; P9K5	P6M5K5; P9K5; P9M4K8	P6M5K5; P9M4K8	P9M4K8; P6M5K5	P6M5K5; P6M5Ф3	P6M5K5; P9K5; P9M4K8	P9M4K8; P6M5K5; P9K5	P9M4K8; P6M5K5; P6K5
Жаропрочные деформируемые сплавы на железоникелевой и никелевой основе, жаропрочные литые сплавы на никелевой основе, прецизионные сплавы	P12Ф2К8М3; P12Ф4К5; P6M5K5	P9M4K8; P6M5K5	P9M4K8; P6M5K5; P12Ф4К5	P9M4K8; P6M5K5; P12Ф4К5	P12Ф2К8М3; P9M4K8	P9M4K8; P6M5K5	P9M4K8; P12Ф2К8М3; P12Ф4К5	—
Сплавы на основе титана	P12Ф2К8М3; P12Ф4К5; P6M5K5		P9M4K8; P12Ф4К5;	P9M4K8; P6M5K5			P9M4K8; P12Ф4К5; P6M5K5	

Примечания: 1. Сталь P9K5 применяют при повышенных режимах резания.

2. Марки быстрорежущей стали приведены в порядке предпочтительности их применения.

**9. Рекомендуемые к преимущественному использованию марки быстрорежущей стали для инструмента повышенной производительности**

Группа стали	Марки стали	
	применяемые	рекомендуемые для замены
Вольфрамованадиевая	P9Ф5; P12Ф3; P14Ф4	P12Ф3
Вольфрамомолибденованадиевая	P6M5Ф3	P6M5Ф3
Вольфрамокобальтовая	P9K5; P9K10	P9K5
Вольфрамомолибдинокобальтовая	P6M5K5	P6M5K5
Вольфрамокобальтованадиевая	P10K5Ф5; P12Ф4K5; P18K5Ф2	P18K5Ф2
Комплексио-легированные	P10K10Ф3M4	—
Комплексио-легированные с повышенным содержанием углерода	P0Ф2K8M6AT; P2Ф2K8M6AT; P8M3K6C; P9M4K8; P10Ф1K8M6; P12Ф2K8M3; P12Ф3K10M3; P18Ф2K8M	P9M4K8

**10. Область применения быстрорежущих вольфрамомолибденовых сталей**

Инструменты	Обрабатываемый материал	Марка стали инструмента
Спиральные и центровочные сверла, развертки, машинные метчики	Конструкционные легированные стали с 51...56 HRC и $\sigma_s \geq 2$ ГПа, жаропрочные и титановые сплавы	P18Ф2K8M; P12Ф2K8M3; P6Ф2K8M5
	Конструкционные легированные стали с 44...48,5 HRC и $\sigma_s = 1,2...1,6$ ГПа, коррозионно-стойкие и термоустойчивые стали	P12Ф2K8M3; P6Ф2K8M5
	Конструкционные легированные стали с HB $\geq 300$ и $\sigma_s = 0,9...1,0$ ГПа, коррозионно-стойкие стали	P6Ф2K8M5; P2Ф2K8M6
Концевые, дисковые, цилиндрические и торцовые фрезы	Стали высокопрочные с 51...56 HRC и износостойкие типа 45Г17Ю3, жаропрочные и титановые сплавы	P18Ф2K8M; P12Ф2K8M3; P6Ф2K8M5
	Стали конструкционные легированные с 41...46 HRC, коррозионно-стойкие типа 12Х18Н9Т и высокохромистые	P6Ф2K8M5; P2Ф2K8M6
Круглые и шлицевые протяжки, червячные и шлицевые фрезы	Стали: конструкционные легированные с 250...300 HB, коррозионно-стойкие, жаропрочные и теплоустойчивые	P6Ф2K8M5; P2Ф2K8M6
Резцы: фасонные, автоматные, расточные, отрезные, строгальные	Высокопрочные, жаропрочные, титановые и износостойкие стали и сплавы	P12Ф2K8M3; P6Ф2K8M5; P2Ф2K8M6

Примечание. Марки быстрорежущей стали приведены в порядке предпочтительности их применения.

## 11. Относительная стойкость режущего инструмента из быстрорежущих сталей, %

Марка стали инструмента	Материал обрабатываемой заготовки		
	Сталь		Труднообрабатываемые стали и сплавы
	конструкционная	легированная	
P18	100	100	100
P18K5Ф2	150	150	170
P12	100	90	70
P14Ф4	150	150	150
P12Ф4K5	150	170	200
P9	100	90	70
P9K10	200	200	200
P9M4K8	250	300	300
P6M5	100	80	60
P6M5K5	150	150	200
P6M5K8Ф2	150	170	250

## 12. Сверхтвердые материалы зарубежного производства

Обозначение фирмы GUHRING	Другие обозначения	Твердость		Предел прочности при изгибе, кН/мм <sup>2</sup>	Размер зерна, мкм	Области применения
		по Виккерсу	по Кнуппу, ГПа			
PCD	DB-CT010	—	68	—	< 10	Преимущественно для обработки алюминиевых сплавов, наивысшие точность и качество обработанной поверхности
PSB	DBC-80	—	32	—	< 2	Преимущественно для обработки закаленных сталей
Cermet	TCN54 (P15/P20)	1650	—	1900	< 2,5	Высокая кромкостойкость. Для чистовой обработки таких инструментов как развертки
Ceramic	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	1560	—	1000	< 4	Исключительно высокая теплостойкость. Для обработки без применения СОЖ литых материалов

В зависимости от конфигурации заготовки, поликристаллический алмаз позволяет достичь шероховатости обработанной поверхности  $Ra = 0,63 \dots 1,25$  мкм, а при тонкой доводке режущих кромок —  $Ra = 0,32 \dots 0,63$  мкм. Как правило, инструменты из поликристаллического алмаза работают лучше с охлаждением.

Кубический нитрид бора (КНБ), так же, как и поликристаллический алмаз, производится при высокой температуре и очень высоком давлении с использованием осноры из карбида вольфрама и металлического катализатора. Инструменты, оснащенные КНБ, позволяют повысить скорости резания в 10 раз и достичь



## 1.3. Рекомендуемые режимы резания при обработке инструментами из полкристаллического алмаза

Обрабатываемый материал	Сверление		Фрезерование		Точение	
	Скорость резания, м/мин	Подача, мм/об	Скорость резания, м/мин	Подача, мм/зуб	Скорость резания, м/мин	Подача, мм/об
Алюминиевые сплавы (Si < 12 %)	100...800	0,1...0,25	300...3500	0,04...0,2	300...8500	0,01...0,25
Алюминиевые сплавы (Si > 12 %)	100...600	0,1...0,25	200...2900	0,02...0,15	200...4700	0,01...0,25
Деформируемые алюминиевые сплавы	100...1000	0,1...0,25	300...4700	0,04...0,2	300...16 000	0,05...0,35
Магнелиевые сплавы	100...800	0,12...0,32	200...5500	0,04...0,25	—	—
Медные сплавы	100...380	0,1...0,25	200...5500	0,05...0,35	200...3200	0,01...0,3
Наполненные пластмассы	150...1500	0,05...0,5	150...3600	0,1...1,0	150...1200	0,05...0,3
Латунь	100...1200	0,05...0,35	200...4500	0,05...0,35	200...5100	0,01...0,25
Предварительно спеченные твердые сплавы	50...150	0,05...0,4	50...200	0,02...0,15	50...200	0,1...0,5
Неспеченные твердые сплавы	50...450	< 0,2	50...600	< 0,2	50...600	< 0,2
Графит	200...1200	0,01...0,2	200...2000	0,04...0,2	—	—
Спеченные твердые сплавы (10...17 % Со)	—	—	—	—	0...30	0,1...0,4

отличных результатов при обработке сплавов железа, обладающих абразивными свойствами и имеющих твердость свыше 40 HRC, например: пружинной стали, инструментальной стали, серого чугуна, отбеленного чугуна и порошковых металлических покрытий на твердых сплавах и других металлах.

Рекомендуемые режимы резания приведены в табл. 14.

### ПРИМЕНЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ

*Износостойкость инструмента* характеризуется периодом стойкости  $T$ , в течение которого износ достигает максимального допустимого значения, определяемого как критерий затупления  $h$  (табл. 15). Если износ инструмента

#### 14. Рекомендуемые режимы резания при обработке инструментами из КНБ

Обрабатываемые материалы	Фрезерование		Точение	
	Скорость резания $v$ , м/мин	Подача $S_z$ , мм/зуб	Скорость резания $v$ , м/мин	Подача $S_0$ , мм/об
Среднеуглеродистые стали 180...240 HB	600...1500	0,25...0,4	400...1000	0,1...0,4
Отбеленный чугун 60 HRC	80...200	0,1...0,4	30...100	0,4...0,85
Хромомарганцевая закаленная сталь 56 HRC	120...250	0,05...0,2	80...140	0,1...0,3
Подшипниковая сталь 61...63 HRC	120...220	0,05...0,2	100...180	0,08...0,2
Холоднокатаная хромистая сталь 59 HRC	100...320	0,05...0,2	60...130	0,05...0,2
Быстрорежущая сталь 64...65 HRC	—	—	90...130	0,05...0,2
Стеллит	150...240	0,1...0,3	120...250	0,2...0,4
Твердые сплавы (содержащие Co > 17%)	—	—	30	0,05...0,2

Примечание. Сверление инструментами из КНБ не рекомендуется.

#### 15. Средние значения допустимого износа режущей части инструмента, мм

##### Токарные резцы

Резцы	Материал режущей части резца	Обрабатываемый материал	Критерий затупления $h$
Прходные, подрезные, расточные	Быстрорежущая сталь	Углеродистые и легированные стали	1,5...2,0
		Жаропрочные и коррозионно-стойкие стали	0,8...1,0 (0,3...0,5)
	Твердый сплав	Углеродистые и легированные стали	1,0...1,4 0,4...0,6
		Жаропрочные и коррозионно-стойкие стали	0,8...1,0 (0,3...0,5)
Отрезные, прорезные	Быстрорежущая сталь	Сталь, ковкий чугун	0,8...1,0
		Серый чугун	1,5...2,0
	Твердый сплав	Углеродистая сталь, чугун	0,8...1,0
		Жаропрочные и коррозионно-стойкие стали	0,5...0,6
Фасонные	Быстрорежущая сталь	Сталь	0,4...0,5

Продолжение табл. 15

## Строгальные и долбежные резцы

Резцы	Материал режущей части	Критерий затупления $h_z$ , при обработке	
		стали	чугуна
Проходные	Быстрорежущая сталь	1,5...2,0	$\frac{3,0...4,0}{1,5...2,0}$
	Твердый сплав		$\frac{0,8...1,0}{0,6...0,8}$
Прорезные и отрезные	Быстрорежущая сталь	0,8...1,0	1,5...2,0
	Твердый сплав	—	0,6...0,8
Фасонные	Быстрорежущая сталь	0,4...0,5	0,4...0,5
	Твердый сплав	—	0,4...0,5

## Инструменты для обработки отверстий и нарезания резьбы

Инструмент	Обрабатываемый материал	Материал режущей части	Критерий затупления	Диаметр инструмента	Допустимый износ
Сверла	Сталь*	Быстрорежущая сталь	$h_n$	0,4...1	0,1...0,16
			$h_y$	1...3	0,2...0,5
			$h_z$	4...10 10...20 20...25	0,4...0,5 0,5...0,8 1,0
		Твердый сплав	$h_n$	3...5 6...8 10...12	0,1...0,2 0,25...0,3 0,4...0,5
	Чугун		Быстрорежущая сталь	$h_y$	20
		Твердый сплав	$h_n$	3...12	0,1...0,5
Зенкеры	Сталь*	Быстрорежущая сталь	$h_y$	20...80	1,2...1,5
	Чугун				0,8...1,5
	Сталь и чугун	Твердый сплав	$h_z$	20 40 60 80	1,0 1,2 1,4 1,6
Развертки	Сталь* и чугун	Быстрорежущая сталь	$h_y$	20...50	$\frac{0,6...0,8}{0,4...0,7}$
		Твердый сплав			
Машинно-ручные метчики	Сталь*	Быстрорежущая сталь	$h_z$	$d$	$0,125d$
	Чугун*				$0,7d$
Гаечные метчики	Сталь				$0,05d$
Плашки	Сталь*			M3 – M6	0,1...0,2
				M8 – M12	0,2...0,3

\* Обработка выполняется с использованием СОЖ.

Продолжение табл. 15

Фрезы

Фрезы	Материал режущей части	Обрабатываемый материал	Диаметр фрезы	Критерий затупления $h$ , мм	
Торцовые	Твердый сплав	Сталь	До 250	$\frac{1,0...1,2}{0,8...1,0}$	
				Быстрорежущая сталь	$\frac{1,5...2,0}{0,3...0,5}$
	Твердый сплав				Чугун
				Сталь, чугун, медные и алюминиевые сплавы	250...630
Прорезные (шлицевые) и отрезные		Конструкционная сталь, чугун	20...315	0,15...0,2	
		Коррозионно-стойкая сталь		0,2...0,3	
Дисковые пазовые	Быстрорежущая сталь	Сталь и чугун	50...125	0,3...0,5	
Дисковые двух- и трехсторонние со вставными ножами			Твердый сплав	80...315	$\frac{0,4...0,6}{0,5...0,7}$
	Коррозионно-стойкая сталь	100...315		1,0...1,2	
	Конструкционная сталь, чугун	50...125	0,4...0,5		
	Коррозионно-стойкая сталь		0,5...0,6		
Цилиндрические	Твердый сплав	Сталь	63...250	0,5...0,6	
		Чугун		0,7...0,8	
	Быстрорежущая сталь	Сталь		$\frac{0,4...0,6}{0,15...0,25}$	
		Чугун		$\frac{0,5...0,8}{0,2...0,3}$	
Концевые	Твердый сплав	Конструкционная сталь	3...12	$\frac{0,3...0,5}{0,2...0,3}$	
			3...12	$\frac{0,25...0,35}{0,20...0,35}$	
	Быстрорежущая сталь		16...25	$\frac{0,50...0,65}{0,35...0,50}$	
			32...63	$\frac{0,4...0,55}{0,3...0,4}$	

Окончание табл. 15

Фрезы	Материал режущей части	Обрабатываемый материал	Диаметр фрезы	Критерий затупления $h_z$
Концевые	Быстрорежущая сталь	Чугун	3...12	$\frac{0,3...0,5}{0,3...0,35}$
			16...32	$\frac{0,8...1,0}{0,5...0,6}$
			40...63	$\frac{0,6}{0,4}$
		Коррозионно-стойкая сталь	3...12	$\frac{0,15...0,2}{0,1...0,2}$
			16...63	$\frac{0,3...0,36}{0,2...0,25}$
		Алюминиевые сплавы	3...63	$\frac{0,3...0,4}{0,2...0,3}$
Шпоночные	Быстрорежущая сталь	Сталь конструкционная при обработке: с маятниковой подачей	4...14	0,15...0,25
			16...32	0,3...0,4
		за один ход	2...14	0,1...0,25
			16...32	0,3...0,4
Двухугловые	Быстрорежущая сталь	Сталь конструкционная	40...80	$\frac{0,6...0,7}{0,2...0,3}$
Фасонные незатылованные			$\frac{0,6...0,7}{0,2...0,3}$	
Фасонные затылованные			$\frac{0,3...0,4}{0,2}$	
			0,2	

**Примечание.** Ряд значений критерия затупления приведен в виде дроби: в числителе – значения критерия для инструментов, используемых при черновой обработке, в знаменателе – при чистовой обработке. Значения критерия, приведенные в скобках, характеризуют износ инструментов, используемых при чистовой и получистовой обработке; остальные значения при черновой и чистовой обработке.

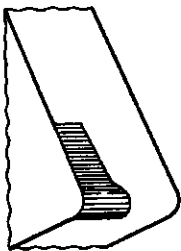
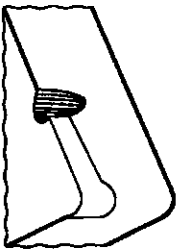
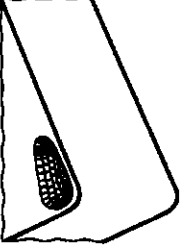
по значению равен критерия затупления, необходима переточка инструмента, обеспечивающая наибольший срок его службы. За критерий затупления принимают: при точении и фрезеровании заготовок – износ  $h_z$  по задней поверхности режущего лезвия резца или фрезы; при отрезке и прорезке канавок – износ  $h_y$  по уголкам резца; при обработке отверстий и нарезании резьбы – износы  $h_n$ ,  $h_y$ ,  $h_z$  и  $h_x$  режущей части инструмента соответственно по перемычке, уголкам, задней поверхности и ленточке.

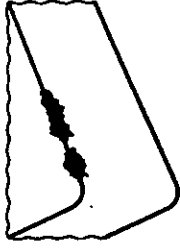
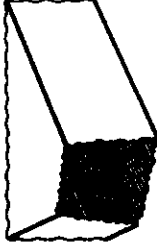
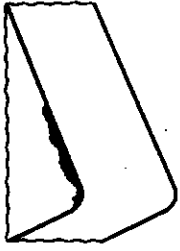
Рекомендации по корректировке режимов и условий резания по результатам производственных испытаний материалов режущей части инструментов приведены в табл. 16.

**Применение износостойких покрытий.** Инструменты из быстрорежущих сталей и твердых сплавов поставляются обычно в состоянии обработки рабочих поверхностей до параметра шероховатости  $Ra = 0,32...0,63$  мкм. Для специального применения желательно повысить износостойкость инструмента, а также снизить сопротивление скольжению и тенденцию к холодной сварке его рабочих поверхностей путем снижения шероховатости поверхности и нанесения специальных покрытий.

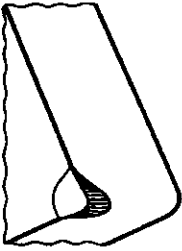
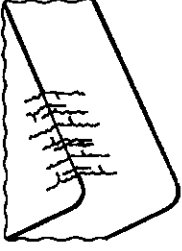
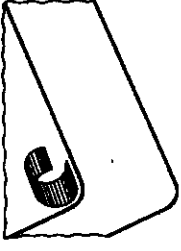
Наиболее важным направлением достижения указанной цели является применение функциональных покрытий. Основные разновидности покрытий для металлорежущих инструментов приведены в табл. 17.

16. Изнашивание режущей части инструмента

Причина потери работоспособности	Характерные особенности	Рекомендации по устранению
<p>Износ по задней поверхности</p> 	<p>Основной критерий для определения периода стойкости инструмента. Режимы и условия резания следует корректировать, если период стойкости снижается до величины <math>T = 15</math> мин</p>	<p>Выбрать более износостойкую марку материала режущей части инструмента;                      — уменьшить скорость резания</p>
<p>Износ в форме усика</p> 	<p>Возникает локально в той области главной режущей кромки, где она контактирует с поверхностью заготовки. Причиной возникновения являются высокая твердость поверхностного слоя, а также твердый заусенец на заготовке, особенно при обработке аустенитных сталей. Существует опасность поломки</p>	<p>Усилить главную режущую кромку;                      — выбрать меньшее значение главного угла в плане (<math>\phi = 45^\circ</math>);                      — уменьшить скорость подачи</p>
<p>Износ в форме лунки</p> 	<p>Износ на передней поверхности характеризуется преимущественно глубиной лунки. Для современных твердосплавных пластин с покрытиями, геометрий, способствующей разному стружке и пологими передними углами, этот износ не является критерием, определяющим период стойкости инструмента</p>	<p>Использовать твердосплавные пластины с покрытиями;                      — выбрать геометрию режущей части с пологими передними углами;                      — уменьшить скорость резания</p>

Причина потери работоспособности	Характерные особенности	Рекомендации по устранению
<p data-bbox="189 1251 218 1596">Выкрашивание режущей кромки</p> 	<p data-bbox="189 655 384 1201">Слабое выкрашивание вдоль режущей кромки, обычно сопровождаемое износом по задней поверхности, и, вследствие этого, не всегда идентифицируемое. Имеется опасность поломки. Выкрашивание кромки вне зоны резания является результатом ударов стружки при неблагоприятных условиях стружкообразования</p>	<p data-bbox="189 243 476 630"> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Выбрать более прочную марку материала режущей части;</li> <li>- использовать пластинку с более массивной геометрией режущей части;</li> <li>- уменьшить скорость подачи в начале резания в случае повреждения режущей кромки от ударов стружки;</li> <li>- варьировать скорость подачи;</li> <li>- изменить геометрию стружколома;</li> <li>- изменить главный угол в плане</li> </ul> </p>
<p data-bbox="522 1318 551 1520">Поломка пластины</p> 	<p data-bbox="522 655 660 1201">Поломка пластины обычно сопровождается повреждением инструмента и заготовки. Причины различны и зависят также от станка и заготовки. Поломка часто возникает в местах выемок или преимущественного износа</p>	<p data-bbox="522 168 740 630"> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Выбрать более прочную марку режущего материала;</li> <li>- использовать более массивную пластинку с большим радиусом вершины;</li> <li>- выбрать геометрию стружколома для более крупных элементов стружки;</li> <li>- уменьшить подачу, а возможно и глубину резания</li> </ul> </p>
<p data-bbox="803 1251 832 1596">Износ при наростообразовании</p> 	<p data-bbox="803 655 1056 1201">Нарост возникает на передней поверхности как результат сварки материала заготовки с материалом режущей части инструмента, особенно при резании труднообрабатываемых материалов. Нарост периодически разрушается и создает условия нестабильности формирования обработанной поверхности. При чистой обработке может повредить режущую кромку. Наростообразование приводит к ухудшению качества обработанной поверхности</p>	<p data-bbox="803 168 970 630"> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Повысить скорость резания;</li> <li>- использовать твердосплавные пластинки с покрытиями или керметы;</li> <li>- выбрать геометрию режущей части с положительными передними углами;</li> <li>- использовать СОТС</li> </ul> </p>

Окончание табл. 16

Причина потери работоспособности	Характерные особенности	Рекомендации по устранению
<p>Пластическая деформация режущего клина</p> 	<p>Возникает вследствие чрезмерного нагружения режущей кромки в сочетании с высокими температурами резания. Имеется опасность поломки</p>	<p>— Уменьшить скорость резания; — снизить скорость подачи; — использовать более износостойкие марки материалов режущей части</p>
<p>Термические трещины (термический шок)</p> 	<p>Микро- и макротрещины, распространяющиеся в области режущего лезвия, вызванные перепадами термическими нагрузками при прерывистом резании, в особенности при фрезеровании. Имеется опасность поломки</p>	<p>— Использовать марку материала режущей части с большим сопротивлением термическим ударам; — проверить применение СОТС. СОТС обычно не должны применяться при фрезеровании фрезами с твердосплавными пластинами, за исключением специально оговоренных марок твердого сплава, а также обработки алюминиевых, титановых, теплоустойчивых и жаропрочных сплавов; — использовать сжатый воздух для удаления стружки при фрезеровании глухих пазов</p>
<p>Повышенный износ вследствие неправильного выбора формы, размера и направления схода стружки</p> 	<p>Управление стружкой существенно для безотказного (не сопровождаемого возникновением непредвиденных ситуаций) резания. Ключевые факторы — материал заготовки, скорость подачи и глубина резания. Слишком короткая стружка приводит к возникновению вибрации и чрезмерному нагружению режущей кромки. Имеется опасность поломки</p>	<p>— Избегать слишком малых глубин резания, меньше одного радиуса при вершине, за исключением отделочной обработки; — если стружка слишком длинная — выбрать геометрию стружколома для уменьшения элементов стружки или повысить скорость подачи; — если стружка слишком короткая — выбрать геометрию стружколома для увеличения элементов стружки или снизить скорость подачи; — при составлении маршрута обработки следить за последовательностью операций; — с помощью угла наклона режущей кромки <math>\lambda</math> изменять направление схода стружки</p>



17. Характеристики покрытий металлорежущих инструментов

Характеристика	TiN	TiAlN	TiCN	FIRE	Алмазное	MoS <sub>2</sub>
Температура нанесения покрытия, °С	450...500	350	450...500	450...500	900	< 100
Количество слоев	1	1	До 7	6	1	1
Цвет	Золотой	Черно-фиолетовый	Серо-фиолетовый	Красно-фиолетовый	Темно-серый	Серый
Толщина, мкм	1,5...3	1,5...3	4...8	3...4	1,5...2,5	0,2...0,5
Твердость, HV	2200	3300	3000	3300	10 000	20...50
Коэффициент трения (по стали)	0,4	0,3	0,35	0,3	≈ 0,2	0,05...0,15
Теплопроводность, кВт/мК	0,07	0,05	0,1	0,05	2	< 0,1
Допустимая температура резания, °С	< 600	< 800	< 450	< 800	< 600	< 800
Область применения	Универсальное	Точение, сверление	Фрезерование, сверление, резьбонарезание	Универсальное	Фрезерование, резьбонарезание	Сверление, резьбонарезание, развертывание, фрезерование
Обрабатываемые материалы	Универсальные	Серый чугун, силумины	Сталь	Универсальные	Графит, силумины	Алюминиевые сплавы, сталь
Особенности	Низкая затратность	Резание без СОТС	Стойкое к ударам	Низкая затратность, резание без СОТС, стойкое к ударам	Стадия разработки	Резание без СОТС, исключается наростообразование

**Покрытие TiN (нитрид титана).** Внешний вид – золотой цвет. Эффективность надежно подтверждена. Хорошее по стоимости, универсальное покрытие. Достигается повышение стойкости инструмента в среднем на 400 %.

**Покрытие TiAlN (алюмонитрид титана).** Внешний вид – черно-фиолетовый цвет. Специальное покрытие для обработки материалов с абразивными свойствами (чугун, сплавы Al-Si) и/или для обработки при высоких температурах резания, т.е. при обработке без охлаждения или с ограниченными возможностями по охлаждению, например при глубоком сверлении или сверлении отверстий малого диаметра. Покрытие TiAlN обеспечивает повышение стойкости инструмента только на высоких скоростях резания.

**Покрытие TiCN (карбонитрид титана).** Внешний вид – серо-фиолетовый цвет. Многослойное покрытие с ламellarной структурой. Демонстрирует значительные преимущества при обработке сталей и труднообрабатываемых материалов, а также при прерывистом резании или когда требования к твердости и прочности покрытия выше средних.

**Покрытие FIRE.** Внешний вид – красно-фиолетовый цвет. Многослойное TiAlN покрытие с градиентной структурой. Обеспечивает повышенную стойкость инструмента по меньшей мере в два раза по сравнению с TiN. Объе-

дняет преимущества TiN, TiAlN и TiCN. Близкая к огнестойкости теплостойкость. Высокая прочность. В сочетании с покрытием MoS<sub>2</sub> рекомендуется для высокоскоростного резания без СОЖ.

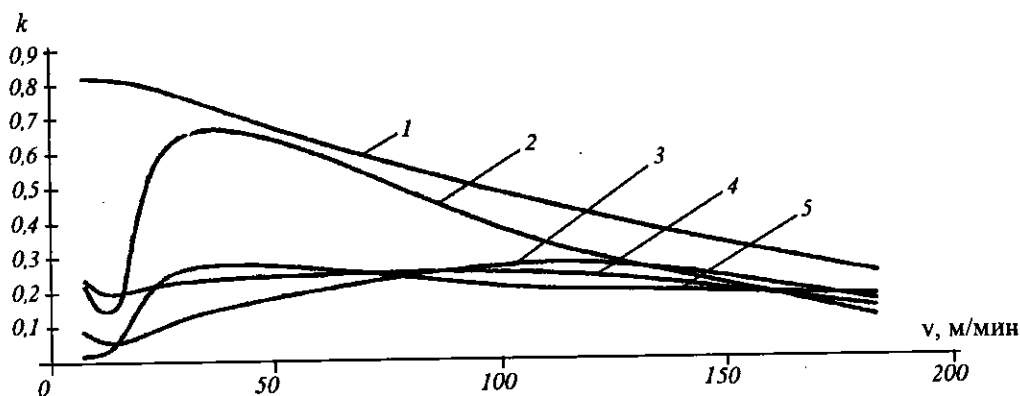
**Покрытие MoS<sub>2</sub> (дисульфид молибдена).** Внешний вид – серый цвет. Мягкое покрытие, снижающее трение. Специально разработано для улучшения транспортирования стружки и исключения наростообразования при обработке алюминиевых сплавов.

**Алмазное покрытие.** Внешний вид – темно-серый цвет. При особенно сложных геометриях инструмента позволяет полностью использовать преимущества алмаза по твердости, поскольку аналогичные инструменты из полнокристаллического алмаза дороги.

Коэффициенты трения твердого сплава T15K6 без и с нитридтитановым покрытием по основным сталям при скоростях скольжения (резания) 100...200 м/мин имеют следующие значения:

- по стали 45: 0,38...0,45 (без покрытия) и 0,25...0,48 (с покрытием);
- по стали 12X18H10T: 0,80...0,95 (без покрытия) и 0,60...0,85 (с покрытием).

Характер изменения коэффициента трения в зависимости от скорости резания показан на рисунке.



Зависимость коэффициента трения  $k$  пары (T15K6 + покрытие) – сталь 45 от скорости резания  $v$  при обработке с различными видами СОЖ:  
1 – без СОЖ; 2 – Blasocut; 3 – Patak; 4 – Mikrocool; 5 – Ubkut

При прерывистом резании, недостаточной жесткости технологической системы и на черновых операциях при изменяющихся припусках на обработку используют более пластичные покрытия малой толщины – 3...5 мкм. Для непрерывного резания, особенно в условиях большой жесткости технологической системы и малых подач, более эффективны покрытия повышенной твердости толщиной 5...10 мкм. Для инструментов из быстрорежущих сталей Р6М5 и Р6М5К5 применяют покрытия из нитрида титана толщиной 3...5 мкм. Комплексная поверхностная обработка, заключающаяся в предварительном азотировании инструмента на глубину до 25 мкм и последующем нанесении покрытия, позволяет увеличить период стойкости инструмента в 3...5 раз. Для твердосплавных инструментов используют покрытия из карбида титана толщиной 6...10 мкм и композиционные покрытия из карбида, карбонитрида и нитрида титана толщиной до 10 мкм.

При работе с подачами  $S_0 > 0,7$  мм/об эффективность любых покрытий, нанесенных на режущий инструмент, снижается.

Периоды стойкости инструментов из твердых сплавов и быстрорежущих сталей с износостойкими покрытиями приведены в табл. 18 и 19.

Повышение работоспособности инструмента из твердого сплава нанесением покрытий на сменные многогранные пластинки осуществляют высокотемпературными способами, при которых температура подложки достигает 1000 °С. К этим способам относят: конденса-

цию газообразных соединений из газовой среды с образованием твердых пленок (способ ГТ); термодиффузию в материал инструмента твердых соединений из металлических порошков (способ ДТ).

Способами ГТ и ДТ наносят на сменные многогранные пластинки из твердого сплава покрытия из карбидов титана (TiC), а также двухслойные покрытия из карбидов и нитридов титана (TiC + TiN). При одинаковой стойкости инструмента наличие таких покрытий позволяет повысить скорость резания при обработке труднообрабатываемых материалов на 10...20 %. В случае обработки с одинаковыми скоростями резания покрытия, нанесенные способами ГТ и ДТ, повышают стойкость инструмента (многогранных твердосплавных пластин) в 1,5...2 раза.

Инструменты из быстрорежущей стали упрочняют конденсацией веществ из плазменной фазы в условиях ионной бомбардировки (способ КИБ). Для этого способа характерна довольно низкая температура подложки (450 °С). Способом КИБ наносят покрытия из нитрида титана на инструменты из быстрорежущей стали – долбяки, червячные фрезы, метчики (особенно бесстружечные), протяжки, развертки, концевые фрезы, а также на сложные в изготовлении монолитные инструменты из твердого сплава (мелкомодульные долбяки, метчики, фасонные резцы) и напаянные твердосплавные пластинки. Стойкость инструмента, упрочненного способом КИБ, повышается в 1,2...2 раза.

**18. Периоды стойкости твердосплавных пластин с износостойкими покрытиями, нанесенными на установках типа "Булат"**

Пластина	Характер обработки	Период стойкости при обработке одним углом пластины, мин	
		без покрытия	с износостойким покрытием
Многогранная	Черновая и получистовая	24...25	40...60
Круглая		120	200
Многогранная	Чистовая	27...29	40...45
Круглая		140	220

19. Периоды стойкости инструментов из быстрорежущей стали с покрытием из TiN

Вид инструмента	Размерный параметр	Значение размерного параметра, мм	Период стойкости инструмента при обработке заготовок, ч		
			из конструкционной стали		из чугуна и бронзы
			углеродистой	легированной	
<i>Резцы</i>					
Токарные проходные	Сечение державки	(12×20)...(12×25)	3,5	2,6	—
		(16×16)...(16×30)	4,3	3,5	
Токарные фасочные		(10×15)...(12×20)	1,2	1,2	—
		(16×25)...(20×30)	1,6	1,2	
		(25×40)...(30×45)	2,4	2,0	
Отрезные и канавочные	Ширина режущей части	2	3,3	2,5	4,2
		5...6	4,2	3,3	5
		8...10	5	4,2	5,9
Расточные	Сечение державки	(16×16)...(25×25)	2,0	2,0	—
Токарные подрезные	Сечение державки	(10×16)...(40×60)	2,1	2,1	—
Фасонные призматические средней сложности	Ширина режущей части	10	5,7	—	—
		20...30	6,7		
		40	7,6		
Фасонные призматические сложные		20...30	5,7	4,8	6,7
	40	6,2	5,3	6,7	
	50...60	6,7	5,7	7,6	
Токарные галтельные и радиусные	Сечение державки	(10×12)...(12×20)	4,2	3,3	—
		(16×16)...(20×30)	5,0	4,2	
Зубострогальные	Модуль	1...2	12,8	9,9	—
		2,5...6,5	14,2	11,4	
<i>Фрезы</i>					
Дисковые трехсторонние	Диаметр	60	5,4	4,5	8,1
		75	6,3	5,0	9,5
		90	7,2	5,9	10,8
		110	8,1	6,3	11,1
Дисковые пазовые		60	3,6	2,7	5,4
		75	4,5	3,6	6,8
		90...100	5,4	4,5	8,1
Резьбовые гребенчатые		40...50	6,0	5,0	—
	55...65	7,0	5,5		
	80...90	9,0	7,0		
<i>Долбки</i>					
Дисковые косозубые	Модуль	1	12,6	10	—
		2...3	14,0	11	
		3,5...4	15,4	13	
		5...6,5	16,8	14	

### 20. Относительная стойкость инструментов из быстрорежущей стали при обработке труднообрабатываемых материалов

Группа материала	Коэффициент обрабатываемости $k$ труднообрабатываемого материала	Относительная стойкость инструментов из быстрорежущей стали марки			
		P6AM5	P6M5K5	P9K5	P9M4K8
I	0,5...1,0	1,0	1,2	1,2	1,5
II	0,3...0,7	1,0	1,2	1,2	2,0
III	0,45...0,6	1,0	1,2	1,2	2,0
IV	0,23...0,42	0,8	1,5	1,5	2,0
V	0,08...0,16	1,0	2,0	2,0	3,0
VI	0,05...0,1	1,0	2,0	2,0	3,0
VII	0,24...0,5	0,8	1,5	1,5	2,5
VIIIA	0,12...0,22	1,0	1,5	1,5	2,5
VIIIB	0,24...0,50	1,0	1,5	1,5	2,5

Примечания: 1. Относительной стойкостью называют отношение стойкости инструмента из данной стали к стойкости инструмента из стали P18.

2. Коэффициенты обрабатываемости приняты по отношению к стали 45.

Менее важным направлением в повышении стойкости инструмента является применение следующих видов поверхностной химико-термической обработки.

**Азотирование** – дополнительное средство для повышения срока службы инструмента. Рекомендуется при обработке серого чугуна, алюминидных сплавов с большим содержанием кремния, пластмасс, сталей с большим содержанием перлита и т.д.

**Хромирование.** Особенностью инструментов с твердым хромовым покрытием является уменьшение сопротивления скольжению и, как следствие, снижение сил резания. Эти преимущества утрачиваются, если температура резания превышает 250 °С.

**Особенности выбора режима резания для труднообрабатываемых материалов.** Обрабатываемость материалов зависит в основном от их химического состава, в соответствии с которым труднообрабатываемые материалы подразделяют на восемь групп, и характеризуется коэффициентом  $k$  (табл. 20) обрабатываемости материала (группы труднообрабатываемых материалов приведены в табл. 40 гл. 6).

Ориентировочные скорости резания при чистовом и получистовом точении заготовок из труднообрабатываемых сталей и сплавов, характерные также и для торцевого и концевого фрезерования после типовой термической обработки, принятой для данного материала, приведены в табл. 40 гл. 6. Период стойкости инструмента при указанных скоростях резания, мин: 45...60 при точении; 60...120 при фрезеровании. Значения относительной стойкости инструментов из быстрорежущей стали различных марок приведены в табл. 20.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Верещака А.С.** Повышение эксплуатационной надежности режущего инструмента, применяемого в автоматизированном производстве // Автоматизация и комплексная механизация в машиностроении: Труды ЛПИ. № 360. Л.: ЛПИ, 1978. С. 43 – 47.

2. **Нормы расхода резцов с механическим креплением твердосплавных многогранных пластин и режущего инструмента с износо-**

стойкими покрытиями, нанесенными на установках типа "Булат". М.: НИИмаш, 1982. 40 с.

3. **Общемашиностроительные** нормативы по износу, стойкости и расходу спиральных сверл (временные). М.: НИИмаш, 1980. 40 с.

4. **Общемашиностроительные** нормативы режимов резания, норм износа и расхода разверток из быстрорежущей стали. М.: НИИмаш, 1984, 56 с.

5. **Общемашиностроительные** нормативы режимов резания, норм износа и расхода фрез двухугловых, шпоночных, дисковых из быстрорежущей стали и твердого сплава. М.: НИИмаш, 1984. 175 с.

6. **Общемашиностроительные** нормативы режимов резания, норм износа и расхода зенкеров из быстрорежущей стали. М.: НИИмаш, 1984. 131 с.

## МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ

КЛАССИФИКАЦИЯ И СИСТЕМА  
ОБОЗНАЧЕНИЯ СТАНКОВ

Металлорежущие станки в зависимости от вида обработки делят на девять групп (табл. 1), а каждую группу на десять типов (подгрупп), характеризующих назначение станков, их компоновку, степень автоматизации или вид применяемого инструмента. Группа 4 предназначена для электроэрозионных, ультразвуковых и других станков.

Обозначение модели станка состоит из сочетания трех или четырех цифр и букв. Первая цифра означает номер группы, вторая – номер подгруппы (тип станка), а последние одна или две цифры – наиболее характерные технологические параметры станка. Например, 1Е116 означает токарно-револьверный одношпиндельный автомат с наибольшим диаметром обрабатываемого прутка 16 мм; 2Н125 означает вертикально-сверлильный станок с наибольшим условным диаметром сверления 25 мм. Буква, стоящая после первой цифры, указывает на различное исполнение и модернизацию основной базовой модели станка. Буква в конце цифровой части означает модификацию базовой модели, класс точности станка или его особенности.

Классы точности станков обозначают: Н – нормальной; П – повышенной; В – высокой; А – особо высокой точности и С – особо точные станки.

Принята следующая индексация моделей станков с программным управлением: Ц – с цикловым управлением; Ф1 – с цифровой индикацией положения, а также с предварительным набором координат; Ф2 – с позиционной системой ЧПУ; Ф3 – с контурной системой ЧПУ; Ф4 – с комбинированной системой ЧПУ. Например, 16Д20П – токарно-винторезный станок повышенной точности; 6Р13К-1 – вертикально-фрезерный консольный станок с копировальным устройством; 1Г340ПЦ – токарно-револьверный станок с горизонтальной головкой, повышенной точности, с цикловым

программным управлением; 2455АФ1 – координатно-расточный двухстоечный станок особой высокой точности с предварительным набором координат и цифровой индикацией; 2Р135Ф2 – вертикально-сверлильный станок с револьверной головкой, крестовым столом и с позиционной системой числового программного управления; 16К20Ф3 – токарный станок с контурной системой числового программного управления; 2202ВМФ4 – многоцелевой (сверлильно-фрезерно-расточный) горизонтальный станок высокой точности с инструментальным магазином и с комбинированной системой ЧПУ (буква М означает, что станок имеет магазин с инструментами).

Станки подразделяют на широкоуниверсальные, универсальные (общего назначения), специализированные и специальные.

Специальные и специализированные станки обозначают буквенным индексом (из одной или двух букв), присвоенным каждому заводу, с номером модели станка. Например, мод. МШ-245 – рейкошлифовальный полуавтомат повышенной точности Московского завода шлифовальных станков.

В табл. 2 приведен перечень предприятий-изготовителей металлорежущих станков России и Беларуси, а также ряда предприятий Украины, Литвы и Армении и адреса этих предприятий [1]. В данной таблице наименования данных предприятий обозначены поисковыми кодами, которые используются для их обозначения в каталогах и "Номенклатурном перечне" при указании изготовителя каждой модели металлорежущих станков (см. табл. 3 – 12).

В табл. 3 приведена информация о номенклатуре станков токарной группы [2].

В табл. 4 приведена информация о номенклатуре станков сверлильно-расточной группы [3].

В табл. 5 приведена информация о номенклатуре станков фрезерной группы [4].

В табл. 6 и 7 приведена информация соответственно о номенклатуре станков шлифовальной группы и балансировочных станков [5].

1. Классификация металлорежущих станков

Станки	Группа	Типы станков				
		0	1	2	3	4
Токарные	1	Автоматы и полуавтоматы:			Токарно-револьверные	Токарио-револьверные полуавтоматы
		специализированные	одношпиндельные	многошпиндельные		
Сверлильные и расточные	2		Настольно-вертикально-сверлильные	Полуавтоматы:		Координатно-расточные
				одношпиндельные	многошпиндельные	
Шлифовальные, полировальные, доводочные, заточные	3		Круглошлифовальные, бесцентрово-шлифовальные	Внутришлифовальные, координатно-шлифовальные	Обдирочно-шлифовальные	Специализированные шлифовальные
Электрофизические и электрохимические	4			Светолучевые		Электрохимические
Зубо- и резьбообработывающие	5	Резьбонарезные	Зубодолбежные для цилиндрических колес	Зуборезные для конических колес	Зубофрезерные для цилиндрических колес и шлицевых валов	Для нарезания червячных колес
Фрезерные	6	Барабанно-фрезерные	Вертикально-фрезерные консольные	Фрезерные непрерывного действия	Продольные одностоечные	Копировальные и гравировальные
Строгальные, долбежные, протяжные	7		Продольные:		Поперечно-строгальные	Долбежные
			одностоечные	двухстоечные		
Разрезные	8		Отрезные, работающие			Правильно-отрезные
			резцом	абразивным кругом	гладким или насечным диском	
Разные	9		Трубо- и муфтообработывающие	Пилонасекательные	Правильно- и бесцентрово-обдирочные	



Окончание табл. 1

Станки	Группа	Типы станков				
		5	6	7	8	9
Токарные	1	Карусельные	Токарные и лоботокарные	Многорезцовые и копировальные	Специализированные	Разные токарные
Сверлильные и расточные	2	Радиально-координатно-сверлильные	Расточные	Отделочно-расточные	Горизонтально-сверлильные	Разные сверлильные
Шлифовальные, полноразмерные, доводочные, заточные	3	Продольно-шлифовальные	Заточные	Плоско-шлифовальные	Притирочные, полировальные, хонинговальные, доводочные	Разные станки, работающие абразивом
Электрофизические и электрохимические	4			Электроэрозионные, ультразвуковые прошивочные	Анодно-механические, отрезные	
Зубо- и резьбообрабатывающие	5	Для обработки торцов зубьев колес	Резьбофрезерные	Зубоотделочные, проверочные и обкатные	Зубо- и резьбошлифовальные	Разные зубо- и резьбообрабатывающие
Фрезерные	6	Вертикально-фрезерные бесконсольные	Продольные двухстоечные	Консольно-фрезерные операционные	Горизонтально-фрезерные консольные	Разные фрезерные
Строгальные, долбежные, протяжные	7	Протяжные горизонтальные	Протяжные вертикальные для протягивания: внутреннего   наружного			Разные строгальные станки
Разрезные	8	Ленточно-пильные	Отрезные с дисковой пилкой	Отрезные ножовочные		
Разные	9	Для испытания инструментов	Делительные машины	Балансировочные		

## 2. Перечень предприятий-изготовителей металлорежущих станков

Код	Предприятие-изготовитель	Адрес
A1	ОАО "Алапаевский станкостроительный завод"	624603, Россия, г. Алапаевск, Свердловская обл., ул. Токарей, 1
A2	АООТ "Астраханский станкозавод"	416602, Россия, г. Астрахань, ул. Латышева, 16а
A3	"Ас-Экс" Армянская станкостроительная экспортная ассоциация	375002, Армения, г. Ереван, ул. Москоаская, 31, арт. 74а
B1	ОАО Барнаульский станкозавод	656002, Россия, г. Барнаул, Алтайский край, ул. Полевая, 28
B3	ОАО "Беверс"	13313, Украина, Житомирская обл., г. Бердичев, ул. Воровского, 12
B4	Белгородская государственная технологическая академия стройматериалов	308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, 46
B5	ОАО "Богородский машиностроительный завод"	607600, Россия, г. Богородск, Нижегородская обл., ул. Пушкина, 24
B6	Барановичский завод автоматических линий	225320, Республика Беларусь, г. Барановичи, ул. Промышленная, 3
B1	ОАО "Воронежский станкозавод"	394026, Россия, г. Воронеж, пр. Труда, 48
B2	ОАО "Торговый дом "Боткинский завод"	427430, Россия, Удмуртия, г. Воткинск, а/я 21
B5	АП "Визас"	210602, Республика Беларусь, г. Витебск, пр-т Фрунзе, 83
B6	РУП станкостроительный завод "ВИСТАН" им. С.М. Кирова	210627, Республика Беларусь, г. Витебск, ул. Дмитрова, 36/7
B7	РУП "Витебский станкостроительный завод им. Коминтерна"	210604, Республика Беларусь, г. Витебск, ул. Зеньковой, 1
B8	ВЗПИ "Техника" ОАО	600001, Россия, г. Владимир, ул. Московская, 27а
B9	АО "VINGRIAI"	Литва, г. Вильнюс, ул. Смоленская, 10
G1	Нижегородский торговый дом завода фрезерных станков	603029, Россия, г. Нижний Новгород, ул. Памирская, 11
G2	РУП "Гомельский завод станочных узлов"	246636, Республика Беларусь, г. Гомель, ул. 8-я Иногородняя, 1
G3	РУП "Гомельский станкостроительный завод им. С.М. Кирова" (СТАНКО-ГОМЕЛЬ)	246640, Республика Беларусь, г. Гомель, ул. Интернациональная, 10
D1	ОАО "Дмитровский завод фрезерных станков"	141800, Россия, г. Дмитров, Московская обл., ул. Профессиональная, 1

Продолжение табл. 2

Код	Предприятие-изготовитель	Адрес
Д2	АО "Дербентский завод шлифовальных станков"	368600, Россия, г. Дербент, Республика Дагестан, ул. Советская, 11
Е1	ОАО "Егорьевский станкостроительный завод "Комсомолец"	140300, Россия, г. Егорьевск, Московская обл., ул. Профсоюзная, 34
Е2	АООТ "Ейский станкозавод"	353690, Россия, г. Ейск, Краснодарский край, ул. К. Маркса, 124
И1	ОАО "Ивановский завод тяжелого станкостроения" ОАО "ИЗТС"	153032, Россия, г. Иваново, ул. Станкостроителей, 1
И2	ОАО "Луганский станкостроительный завод"	91016, Украина, г. Луганск, ул. 16-я Линия, 40
И3	Дочернее ОАО "Ижмашстанко" ОАО "Ижмаш"	426006, Россия, г. Ижевск, Удмуртия, проезд Дерябина, 3
И6	АО "Станкосистема"	153032, Россия, г. Иваново, ул. Станкостроителей, 1
К2	ООО "Коломенские станки"	140402, Россия, г. Коломна, Московская обл., Окский пр-т, 40
К3	Специальное конструкторское бюро завода тяжелого станкостроения "СКБ ЗТС"	140402, Россия, г. Коломна, Московская обл., Окский пр-т, 40
К4	АООТ "СНАЛ"	350020, Россия, г. Краснодар, ул. Красная, 176
К5	ЗАО Краснодарский станкостроительный завод "Седин"	350007, Россия, г. Краснодар, ул. Захарова, 1
К6	ОАО "Краматорский завод тяжелого станкостроения"	84306, Украина, г. Краматорск, Донецкая обл., ул. Орджоникидзе, 6
К7	АО "Веркон"	252062, Украина, г. Киев, пр. Победы, 67
К16	Савеловское машиностроительное ОАО "САВМА"	171510, Россия, г. Кимры, Тверская обл., ул. 50 лет ВЛКСМ, 11
Л1	ЗАО "Липецкий станкозавод"	398600, Россия, г. Липецк, ул. Советская, 66
Л2	ОАО станкозавод "ШЛИФВЕРСТ"	315500, Украина, г. Лубны, Полтавская обл., ул. Коммунаровская, 19/12
Л3	ОАО "Львовский завод фрезерных станков"	290035, Украина, г. Львов, ул. Зеленая, 149
М1	ОАО "Майкопский станкозавод им. Фрунзе"	352700, Россия, г. Майкоп, Республика Адыгея, ул. Некрасова, 293
М3	ОАО "ЦНИТИ"	127238, Россия, г. Москва, Дмитровское ш., 71
М5	ОАО "Красный пролетарий" (ОАО "КП")	117342, Россия, г. Москва, ул. Буглерова, 17

Продолжение табл. 2

Код	Предприятие-изготовитель	Адрес
M7	АО "Московский завод автоматических линий и специальных станков"	109052, Россия, г. Москва, ул. Подъемная, 14
M9	АООТ "Московский завод координатно-расточных станков" (МЗКРС)	113114, Россия, г. Москва, Павелецкая наб., 2
M10	ЗАО "МСЗ-САЛЮТ"	105118, Россия, г. Москва, пр-т Буденного, 16
M12	ОАО "Московский Станкостроительный завод им. Серго Орджоникидзе"	117908, Россия, г. Москва, ул. Орджоникидзе, 11
M13	Производственное РУП "МЗОР"	220030, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Октябрьская, 16
M14	ГП Минский завод автоматических линий им. П.М. Машерова	220686, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Долгобродская, 18
M15	РУП "Станкостроительный завод им. С.М. Кирова"	220030, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Красноармейская, 21
M16	РУП Молодечненский станкостроительный завод	222310, Республика Беларусь, г. Молодечно, Минская обл., ул. Замковая, 19
M19	ОАО "СТАНКОАГРЕГАТ"	109202, Россия, г. Москва, Перовское ш., 21
M20	ООО СП "СТАНКОВЕНДТ"	127018, Россия, г. Москва, ул. Складочная, стр. 22
M21	МФ ООО "ЕРТЕН"	119991, Россия, г. Москва, ГСП-1, 5-й Донской проезд, 21-Б
M22	ООО "Группа компаний АСВ"	101849, Россия, г. Москва, пер. Уланский, 14а
M23	ОАО "Московское Специальное Конструкторское Бюро автоматических линий и специальных станков"	109052, Россия, г. Москва, ул. Подъемная, 12
M25	ООО "ДИАМЕХ"	109052, Россия, г. Москва, ул. Подъемная, 14
M26	НПЦ "Лазертерм"	109052, Россия, г. Москва, Нижегородская, 29
M27	НИИ "Полюс"	117342, Россия, г. Москва, ул. Введенского, 3
M28	ОАО ЦНИТИ "Техномаш"	121351, Россия, г. Москва, ул. И. Франко, 4
M29	НПО "ШАГ-Лазер"	117321, Россия, г. Москва, а/я 55
M30	ОАО "ЭНИМС"	119991, Россия, г. Москва, ГСП-1, 5-й Донской проезд, 21-Б
M31	ОАО завод "Станкоконструкция"	119991, Россия, г. Москва, ГСП-1, 5-й Донской проезд, 21-Б
M32	Станкокомпания "Гигант"	220029, Республика Беларусь, г. Минск

Продолжение табл. 2

Код	Предприятие-изготовитель	Адрес
H2	ОАО "ТЯЖСТАНКОГИДРОПРЕСС"	630024, Россия, г. Новосибирск, ул. Сибиряков-Гвардейцев, 50
H3	ООО "АГРЕГАТСЕРВИС" правопреемник ОАО "Новочеркасский станкозавод"	346429, Россия, г. Новочеркасск, Ростовская обл., ул. Спуск Ермака, 44
O2	АО Оренбургский станкозавод	460513, Россия, г. Оренбург, ул. Ногина, 6
O3	Станкостроительный завод "Красный борец"	211030, Республика Беларусь, г. Орша, Витебская обл., ул. Энгельса, 29
O4	ОАО Одесский завод прецизионных станков "МИКРОН"	270031, Украина, г. Одесса, ул. Промышленная, 37
O5	ОАО Одесский завод радиально-сверлильных станков (ОЗРСС)	270005, Украина, г. Одесса, ул. Бугаевская, 21
P1	ОАО "Рязанский станкостроительный завод" (ОАО "РСЗ")	390042, Россия, г. Рязань, ул. Станкозаводская, 7
C1	ОАО "Саратовский завод тяжелых зуборезных станков" ОАО "СЗТЭС"	410036, Россия, г. Саратов, ул. Огородная, 162
C2	ЗАО "Станкошлнф"	410036, Россия, г. Саратов, ул. Огородная, 162
C3	ОАО "САСТА"	391430, Россия, г. Сасово, Рязанская обл., ул. Пушкина, 21
C5	ОАО "Санкт-Петербургский завод Прецизионного станкостроения"	197342, Россия, г. Санкт-Петербург, Красногвардейский пер., 15
C6	ЗАО "Станкостроительный завод Свердлов"	195009, Россия, Санкт-Петербург, Свердловская наб., 4
C7	ОАО "Средневожжский станкостроительный завод"	443010, Россия, г. Самара, Красноармейская, 1
C8	ОАО концерн "ИНМАШ"	453130, Россия, Башкортостан, г. Стерлитамак, ул. Гоголя, 122
C9	ОАО "Стерлитамакский станкостроительный завод"	453103, Россия, Башкортостан, г. Стерлитамак, ул. Элеваторная, 37
C10	АО "Техническое бюро станкостроения"	195009, Россия, г. Санкт-Петербург, Свердловская наб., 4
C13	ОАО "Саратовский завод зубострогальных станков"	410015, Россия, г. Саратов, пл. Орджоникидзе, 6а
C16	Самарское станкостроительное АО "Солитон"	443022, Россия, г. Самара, ул. 22 партсъезда, 7а
C17	ПО "Сморгонский завод оптического станкостроения"	231000, Республика Беларусь, г. Сморгонь, Гродненская обл., ул. Я. Коласа, 78

Окончание табл. 2

Код	Предприятие-изготовитель	Адрес
C19	Центр лазерной технологиг	195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29
C20	"Лазертекс"	191101, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Саблинская, 14
C21	Станкостроительное АО "СТАНСАМАРА"	443022, Россия, г. Самара, ул. 22 партсъезда, 7а
C22	ООО СКВ "Модуль"	443110, Россия, г. Самара-110, а/я 4123
C23	АО "ЛАПИК"	410044, Россия, г. Саратов, пр. Строителей, 1
T3	ОАО "Тронцкий станкостроительный завод"	457100, Россия, г. Тронцк, Челябинская обл., ул. Советская, 24
T4	АК ОАО "Туламашзавод"	300002, Россия, г. Тула, ул. Мосина, 2
T5	АО "АВТОВАЗ"	445633, Россия, г. Тольятти, Самарская обл., Южное ш., 36
У1	ОАО "Ульяновский завод тяжелых и уникальных станков"	432042, Россия, г. Ульяновск, ул. Герасимова, 10
У2	ГУП ПО "Ульяновский машиностроительный завод"	432031, Россия, г. Ульяновск, ул. Металлистов, 2
У3	ОАО "Уфимское моторостроительное ПО" УМПО	450039, Россия, г. Уфа, Башкортостан, ул. Ферина, 2
Ф1	НПО "Исток"	141120, Россия, Московская обл., г. Фрязино
X1	ОАО "Хабаровский станкозавод"	680009, Россия, г. Хабаровск, ул. Промышленная, 20
X2	ОАО "ХАРВЕРСТ" (Харьковский станкостроительный завод им. С.В. Коснора)	61055, Украина, г. Харьков, Московский проспект, 277
Ч2	ОАО "Читинский станкостроительный завод"	672022, Россия, г. Чита, ул. Станкозаводская, 1
Ч3	ОАО "ФНПЦ СТАНКОМАШ"	454010, Россия, г. Челябинск ОАО "СТАНКОМАШ"
Ш1	Институт проблем лазерных и информационных технологий РАН	140700, Россия, Московская обл., г. Шатура, ул. Святозерская, 1
Ш3	ЗАО "Лазерные комплексы"	140700, Россия, Московская обл., г. Шатура, ГСП, а/я 8

## 3. Подгруппы, формирующие токарную группу станков, и коды их предприятий (фирм)-изготовителей

№	Подгруппа		Код предприятия-изготовителя	Подгруппа		Код предприятия-изготовителя
	Наименование	№		Наименование	№	
1.1	Одношпиндельные горизонтальные прутковые продольного точения	S4*, C5		Токарно-карусельные двухстоечные	1.16	K2, K5
1.2	Токарно-револьверные прутковые	A1, H1*, P1, X1		Токарно-карусельные одностоечные тяжелые	1.17	K2
1.3	Многошпиндельные горизонтальные прутковые	K7, M12		Патронно-центровые и патронные	1.18	H1, K16, M5, M22, P1, C22
1.4	Многошпиндельные горизонтальные патронные	K7, M5, M12, M14		Токарно-винторезные	1.19	A1, A2, B5, B1, B6, Г2, E2, H1, H2, H3, K6, K7, K16, M5, M13, M21, M22, O4, P1, C3, C7, C16, Y2, Y3, Ч3
1.5	Многорезцовые и копировальные	E2*, K4, H1*, P1*		Токарные настольные	1.20	B5, B2, B6, Г2, K4, M5, M21, M31, P1, C7, X1
1.6	Гидрокопировальные	B6, E2, C7				
1.7	Вертикальные патронные	M14, C9		Резботокарные полуавтоматы	1.21	C7
1.8	Вертикальные многошпиндельного последовательного действия	K5, M5		Специальные вальцетокарные	1.23	P1
1.9	Токарно-револьверные прутковые патронно-центровые	B3, H3		Специальные токарно-карусельные	1.24	K5
1.10	Токарно-револьверные патронные	A1, H3, K16, M5, M12, M22, P1, C8, C9		Специальные для алмазного точения	1.25	M5
1.11	Токарно-револьверные патронно-центровые	E2*, H3, K7, K16, M5, M12, M22, P1, C7, C22		Специальные для обработки поршней	1.26	M5
1.12	Токарно-затыловочные	C7		Специальные для точения резьбы ходовых винтов	1.27	M5
1.13	Токарные комбинированные	Г2, M5, M14, M21, C7				
1.14	Лоботокарные	K6, K16, P1*		Специальные сферотокарные	1.28	M5
1.15	Токарно-карусельные одностоечные	K5				

Окончание табл. 3

№	Подгруппа Наименование	Код предприятия- изготовителя	Подгруппа		Код предприятия- изготовителя
			№	Наименование	
1.29	Специальные с центральным приводом	M5	1.40	Специальные для МПС	P1
1.30	Специальные для обработки арматуры	M5, P1	1.41	Специальные настольные доводочные	XI
1.31	Специальные с вращающимся суппортом	M5	1.42	Специальные для обработки поршней двигателей внутреннего сгорания	M12
1.32	Специальные для поршневых колец	M7	1.43	Специальные для обработки шеек роторов турбин	P1
1.33	Специальные токарные накатные	M12, P1	1.44	Специальные для обработки чечевичных углублений на валках прокатных станов	M14
1.34	Специальные токарные с многотезвийным инструментом для обработки шеек коленвалов и кулачков распределвалов	M5	1.45	Специальные осетокарные	K6
1.35	Специальные фасочно-подрезные	E2	1.46	Специальные бесцентровотокарные	K6
1.36	Специальные колесотокарные	M12, P1, C6	1.47	Специальные для обработки торцов отводов	A1
1.37	Специальные бандажировочные	P1	1.48	Специальные для обточки бандажей и роликов цементных печей	B4
1.38	Токарно-шлифовальные	P1	Примечания: 1. Расшифровка кодов предприятий-изготовителей приведена в табл. 2. 2. Звездочкой "*" обозначены станки, выпускавшиеся до 1998 г., остальные – изготовления 1998–2004 гг.		
1.39	Специальные токарные для вихревой обработки винтовых поверхностей	P1			



## 4. Подгруппы, формирующие шифровальную группу станков, и коды их предприятий (фирм)-изготовителей

Подгруппа		Код предприятия-изготовителя	Подгруппа		Код предприятия-изготовителя
№	Наименование		№	Наименование	
2.1	Вертикально-сверлильные настольные	A1, B1, B3, B1, B2, B7, Г2, E1, E2, J2, M7, M15, M16, M22, O5, C8, C9, C13, X1, Ч2	2.11	Специальные агрегатные сверлильно-расточные и расточные	B6, M12, M14, M19, T5
2.2	Вертикально-сверлильные	A1, Г2, J3, J2, M16, M21, C8, C9	2.12	Специальные агрегатные сверлильно-расточные и расточные	M1
2.3	Вертикальные сверлильно-фрезерные	B6, Г1, Г2, Д1, M21, C7, C9, X1, Ч3	2.13	Специальные для глубокого сверления и растачивания	И3, K6, P1
2.4	Радиально-сверлильные	A3, Г2, O5, C9	2.14	Специальные сверлильно-расточные модули, встраиваемые в автоматические комплексы	B6, M14, M19, T5
2.5	Горизонтально-расточные	И1, K2, M21, H2, C6, C10	2.15	Продольно-подвижные поворотные столы	B6, И1, M14, H2, C6, C21
2.6	Координатно-расточные	M9, M22, C6, C16, C21	2.16	Специальные колесорасточные	X1
2.7	Сверлильно-фрезерно-расточные многоцелевые с горизонтальным шпинделем	B5, B6, Г3, И1, K16, J3, M22, O4, C6, C16	2.17	Специальные отделочно-расточные	M3, C10, C21
2.8	Сверлильно-фрезерно-расточные многоцелевые с вертикальным шпинделем	B2, Г1, Г3, K16, J3, M22, O4, O5, C6, C9, Y1	2.18	Обрабатывающие центры на базе параллельной кинематики	K16, C23
2.9	Специальные вертикально-отделочно-расточные	M1	Примечания: 1. Расшифровка кодов предприятий-изготовителей приведена в табл. 2. 2. Приведенное оборудование изготовлено в 1998-2004 гг.		
2.10	Специальные расточные для обработки уплотнительных поверхностей топливных задвижек	P1			

5. Подгруппы, формирующие фрезерную группу станков, и коды их предприятий (фирм)-изготовителей

Подгруппа		Код предприятия-изготовителя	Подгруппа		Код предприятия-изготовителя
№	Наименование		№	Наименование	
6.1	Вертикально-фрезерные консольные	B2, B5, Г1, Д1, И1, К16, Л3, М12, М22, О3	6.12	Специальные круглофрезерные	С1
6.2	Фрезерные с крестовым и поворотным столом	В1, Г3, К16, Л3, У1	6.13	Специальные двухпозиционные фрезерно-расточные с автоматической заменой инструмента	У1
6.3	Горизонтально-фрезерные консольные	Г1, Г3, Д1, К7, Л3, М21, О3, О5, Ч2	6.14	Специальные торцефрезерные	Ч2
6.4	Фрезерные широкоуниверсальные	В2, В5, В9, Г1, Г3, Д1, К16, Л3, М22, О3, У1	6.15	Специальные продольно-фрезерные переносные	У1
6.5	Копировально-фрезерные	Г1*, К16, Л3, М22, С6, У1	6.16	Специальные агрегатные продольно-фрезерные	Б1, У1
6.6	Продольно-фрезерные	Г1*, К16, М13, Н2, У1	6.17	Специальные для ремонта деталей МПС	К6, Н2, У1
6.7	Продольно-фрезерные с автоматической заменой инструмента	М13, Н2, О5, У1	6.18	Специальные настольные фрезерные для обработки секретов ключей	Д1
6.8	Карусельно-фрезерные	Г1*, Г5	6.19	Специальные консольно-фрезерные для обработки спиральных канавок на концевых фреззах и сверлах	Г3, Д1
6.9	Шпоночно-фрезерные	Д1	6.20	Специальные колесофрезерные	К
6.10	Специальные для фрезерования лопаток компрессоров	К16	6.21	Специальные автоматы	Д1
6.11	Специальные для фрезерования инструмента	Д1	Примечания: 1. Расшифровка кодов предприятий-изготовителей приведена в табл. 2. 2. Звездочкой «*» обозначены станки, выпускавшиеся до 1998 г., остальные – изготовленные 1998–2004 гг.		

## 6. Подгруппы, формирующие шлифовальную группу станков, и коды их предприятий (фирм)-изготовителей

№	Подгруппа		Код предприятия-изготовителя	Подгруппа		Код предприятия-изготовителя
	Наименование	№		Наименование	№	
3.1	Круглошлифовальные центровые		В6, В9, Л2, М10, М22, С5, X2	3.10	Профилешлифовальные глубинные с крестовым столом	Л1*
3.2	Круглошлифовальные бесцентровые, работающие методом напроход и врезанием		В6, М7	3.11	Торцешлифовальные	М7, М10, М19
3.3	Внутришлифовальные патронные		В1, М10, С2, X2	3.12	Продольно-шлифовальные	В1, М13
3.4	Внутришлифовальные бесцентровые, на жестких опорах		М7, М19, С5	3.13	Карусельно-шлифовальные	К2, К5, Л1
3.5	Плоскошлифовальные с горизонтальным шпинделем и крестовым столом		Ю3	3.14	Шлицешлифовальные	М10
3.6	Плоскошлифовальные с горизонтальным шпинделем и прямоугольным столом		В1, В6, Д2, Л1	3.15	Резьбошлифовальные	М9
3.7	Плоскошлифовальные с горизонтальным шпинделем и круглым столом		Л1	3.16	Профилешлифовальные оптические	С5
3.8	Плоскошлифовальные с вертикальным шпинделем и круглым столом		В1, М10*	3.17	Координатио-шлифовальные	С16
3.9	Профилешлифовальные глубинные с прямоугольным столом		Л1, О3	3.18	Точильно-шлифовальные	А1, А2, В5, Г2, Д2, Е1, М22, О3, С3
				3.19	Полировальные	Д2
				3.20	Сулерфинишные центровые	В6
				3.21	Сулерфинишные бесцентровые	В6, М7

Окончание табл. 6

Подгруппа		Код предприятия-изготовителя	Подгруппа		Код предприятия-изготовителя
№	Наименование		№	Наименование	
3.22	Заточные универсальные	A1, B5, И3, Л3, С3, С5	3.34	Специальные шлифовальные доводочные для обработки уплотнительных поверхностей арматуры	P1
3.23	Специальные круглошлифовальные, бесцентровые, работающие методом врезания на жестких опорах	M7, C5	3.35	Специальные плоскошлифовальные для обработки "ласточкиного хвоста"	Л1
3.24	Специальные круглошлифовальные, бесцентровые, работающие методом врезания с ведущим кругом	B6	3.36	Специальные оптические профилишлифовальные	B5, C5
3.25	Специальные круглошлифовальные, бесцентровые, работающие методом "напроход"	B6, M7	3.37	Специальные профилешлифовальные	B1, Д2, С5, У1
3.26	Специальные для шлифования искруглых поверхностей	O3	3.38	Специальные обдирочно-шлифовальные	B1, B6, Д2, E2
3.27	Специальные сферошлифовальные	B6, C5	3.39	Специальные вальцешлифовальные	X2
3.28	Специальные бортикошлифовальные	B6	3.40	Специальные торцекрылошлифовальные	X2
3.29	Специальные хонинговальные	M1, C8, C9, O4, P1	3.41	Специальные для шлифования колеччатых и распределительных валов	X2
3.30	Специальные суперфинишные для обработки колец подшипников	C5	3.42	Специальные для шлифования цапф буровых долотов	X2
3.31	Специальные заточные	B5, B6, B7, Д2, E1, Л1, Л2	Примечания: 1. Расшифровка кодов предприятий-изготовителей приведена в табл. 2. 2. Звездочкой "*" обозначены станки, выпускавшиеся до 1998 г., остальные - изготовления 1998-2004 гг.		
3.32	Специальные притирочные	M1, C9			
3.33	Специальные для обработки шариков	B6			

### 7. Подгруппы, формирующие группу балансировочных станков, и коды их предприятий (фирм)-изготовителей

Подгруппа		Код предприятия-изготовителя
№	Наименование	
9.1	Горизонтальные резонансные для динамической балансировки	K16, M25, M13, M16
9.2	Горизонтальные дорезонансные для динамической балансировки	K16, M13, O4
9.3	Вертикальные для статической балансировки в динамическом режиме	K16, M13
9.4	Специальные для балансировки автомобильных колес	K16, M16
9.5	Специальные для балансировки карданных валов	M13
9.6	Специальные для балансировки колес вентиляторов	M13
9.7	Специальные для балансировки абразивных кругов, роторов	E1, Л1
9.8	Специальные станды для балансировки воздушных винтов	K16
9.9	Специальные для балансировки оправок фрезерных станков	K16
9.10	Специальные для статической балансировки	K16

Примечания: 1. Расшифровка кодов предприятий-изготовителей приведена в табл. 2.  
2. Приведенное оборудование изготовления 1998–2004 гг.

В табл. 8 приведена информация о номенклатуре электрофизического и электрохимического оборудования [6].

### 8. Подгруппы, формирующие группу электрофизических и электрохимических станков, и коды их предприятий (фирм)-изготовителей

Подгруппа		Код предприятия-изготовителя
№	Наименование	
4.1	Электроэрозионные копировально-прошивочные	M3, M31, T3
4.2	Электроэрозионные вырезные	K16, Л3, M3, M31, C5
4.3	Электрохимические копировально-прошивочные	O3, T3
4.4	Анодно-механические ленточные отрезные	T3
4.5	Электроконтактные	K5
4.6	Твердотельные лазеры	Непрерывные малой (< 50 Вт) мощности с модуляцией добротности
4.7		Импульсные малой мощности (< 100 Вт)
4.8		Непрерывные средней мощности (< 1000 Вт)
4.9		Импульсные средней мощности (< 1000 Вт)
4.10	СО <sub>2</sub> -лазеры	Малой мощности (< 100 Вт)
4.11		Средней мощности (< 1000 Вт)
4.12		Большой мощности (> 1000 Вт)
4.13	Другие лазеры	Ф1

Примечания: 1. Расшифровка кодов предприятий-изготовителей приведена в табл. 2.  
2. Приведенное оборудование изготовления 1998–2004 гг.

В табл. 9, 10 и 11 приведена информация соответственно о номенклатуре зубообрабатывающих, отрезных и разных станков [7].

### 9. Подгруппы, формирующие зубообрабатывающую группу станков, и коды их предприятий (фирм)-изготовителей

№	Подгруппа	Код предприятия-изготовителя
	Наименование	
5.1	Зубофрезерные вертикальные для цилиндрических колес	B7, E1, K2, M22
5.2	Зубофрезерные горизонтальные	K2
5.3	Шлицефрезерные	B7, E1
5.4	Зубодолбежные для цилиндрических колес	B7, E1
5.5	Зубошевинговальные	B7, E1
5.6	Зубохонинговальные	B7
5.7	Зубошлифовальные для цилиндрических колес, работающие цилиндрическим абразивным кругом	E1
5.8	Зубошлифовальные для цилиндрических колес, работающие коническим абразивным кругом	M10
5.9	Зубошлифовальные для цилиндрических колес, работающие тарельчатым кругом	M10*
5.10	Зубошлифовальные для долбяков, шеверов и измерительных колес	M10
5.11	Зубошлифовальные для цилиндрических колес, работающие профильным кругом	M10*
5.12	Зубошлифовальные для конических колес с круговыми зубьями	C1
5.13	Зубострогальные для прямозубых конических колес	C1, C13
5.14	Зубофрезерные для прямозубых конических колес	C1, C13
5.15	Зубофрезерные для конических косозубых колес	C1, C13
5.16	Для нарезания глобoidных червячных пар и червяков	E1
5.17	Для обработки зубчатых реек	M10
5.18	Контрольно-обкатные	C1, C13
5.19	Зубопритирочные	C1, C13
5.20	Зубонагартовочные	B7
5.21	Для контроля зубчатых колес	—
5.22	Зубозакругляющие	B7, E1
5.23	Для снятия заусенцев и фасок	B7
5.24	Зубообрабатывающие разные	E1, M15, C1, C13
5.25	Закалочные для зубчатых колес	K2
5.26	Зубофрезерные мастер-станки для обработки червячных колес	M31
5.27	Комбинированные станки	B7

Примечания: 1. Расшифровка кодов предприятий-изготовителей приведена в табл. 2.

2. Звездочкой "\*" обозначены станки, выпускавшиеся до 1998 г., остальные – изготовления 1998–2004 гг.

**10. Подгруппы, формирующие группу  
отрезных стайков, и коды их предприятий  
(фирм)-изготовителей**

Подгруппа		Код предприятия-изготовителя
№	Наименование	
8.1	Ножовочные	В6, Г2, К4, М15, М22
8.2	Ленточно-отрезные	К4, К5, М1, М15
8.3	Круглопильные	Г3, И1, М14, М15
8.4	Абразиво-отрезные	Г3, М7, М15, М22, О3, С3, С8, Х1
8.5	Сверлильно-отрезные	М15
8.6	Опнловочные	М1
8.7	Правильно-отрезные	Г3

Примечания: 1. Расшифровка кодов предприятий-изготовителей приведена в табл. 2.

2. Приведенное оборудование изготовления 1998–2004 гг.

В табл. 12 приведена информация о номенклатуре строгальных, долбежных и протяжных станков [8].

**11. Подгруппы, формирующие группу  
разных стайков, и коды их предприятий  
(фирм)-изготовителей**

Подгруппа		Код предприятия-изготовителя
№	Наименование	
10.1	Резьбонарезные вертикальные	В7, М16
10.2	Гайконарезные	М16
10.3	Центровально-подрезные	А1, М16
10.4	Резьбонарезные	Ч2
10.5	Накатные и раскатные	К3, Р1
10.6	Специальные для испытания абразивных кругов на прочность	Д2
10.7	Трубогибочные	К16, М7, О3, Х1
10.8	Муфтодоверточные	М7, С3

Примечания: 1. Расшифровка кодов предприятий-изготовителей приведена в табл. 2.

2. Приведенное оборудование изготовления 1998–2004 гг.

**12. Подгруппы, формирующие строгальную, долбежную и протяжную группы станков,  
и коды их предприятий (фирм)-изготовителей**

Подгруппа		Код предприятия-изготовителя
№	Наименование	
7.1	Продольно-строгальные	М13, Н2
7.2	Кромкострогальные	М13
7.3	Поперечно-строгальные	О2
7.4	Долбежные	Г3, М13
7.5	Протяжные горизонтальные	И3, М15
7.6	Протяжные вертикальные для внутреннего протягивания	М15
7.7	Протяжные вертикальные для наружного протягивания	М15
7.8	Специальные протяжные непрерывного действия	М15

Примечания: 1. Расшифровка кодов предприятий-изготовителей приведена в табл. 2.

2. Приведенное оборудование изготовления 1998–2004 гг.

## ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

## ТОКАРНЫЕ СТАНКИ

## 13. Токарио-револьверные и фасонио-отрезные одиошпиндельные прутковые автоматы

Размеры, мм

Параметр	1E110; 1E110П	1E116; 1E116П	1E125; 1E125П	1E140; 1E140П	1E165; 1E165П	11Ф16	11Ф25	11Ф40
Наибольший диаметр обрабатываемого прутка	10	16	25	40	65	16	25	40
Наибольшая длина подачи прутка за одно включение	70	70	110	110	125	70	110	110
Наибольший размер нарезаемой резьбы по стали:								
плашкой	M10×1,5	M12×1,7	M18×2,5	M27×3	M30×3,5	M12×1,75	M12×1,75	M18×2,5
метчиком	M8×1,25	M10×1,5	M16×2	M24×3	M27×3	—	—	—
Наибольший ход револьверного продольного суппорта	60	60	100	100	120	70	120	120
Число поперечных суппортов	4	4	4	4	4	3	3	3
Наибольший ход:								
поперечных суппортов	32	32	45	45	60	32	45	45
продольной каретки переднего крестового суппорта	—	—	80	80	100	—	80	80
Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>								
левого вращения	112...5000	90...4000	125...4000	80...2500	40...1600	180...3550	200...4000	125...2500
правого вращения	56...630	45...500	63...500	40...315	20...250	180...1800	200...2000	125...1250
Мощность главного привода, кВт	2,2	3,0	4,0	5,5	7,5	3,0	4,0	5,5
Габаритные размеры:								
длина	1690	1760	2160	2160	2160	1315	1775	1775
ширина	775	775	1000	1000	1200	780	1000	1000
высота	1585	1585	1510	1510	1700	1460	1600	1600
Масса (без электрошкафа и подерживающего устройства для прутка), кг	1330	1330	2200	2210	2855	970	1760	1790



## 14. Токарные одношпиндельные автоматы продольного точения

Размеры, мм

Параметр	1103; 1103А	1Б10В	1М06В; 1М06А	1М10В; 1М10Д	ЛА155Ф30	1М32В
Наибольший диаметр: обрабатываемого прутка и нарезаемой резьбы:	4	6	6	10	16	32
по стали	М2	М4	М3, М4	М2, М5		М14
по латуни	М3	М5	М4, М5	М2, М6	М3...М16	М18
Наибольшая длина подачи прутка за цикл	50	60	60	80; 100	160	100; 180
Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	1600...12500	1400...10000	1400...10000	900...8000	80...8000 <sup>*2</sup>	280...3550
Подача, мм/мин:						
шпиндельной бабки	—	—	—	—	1...6000	—
поперечных суппортов	—	—	—	—	0,5...3000	—
Рабочий ход суппортов:						
балансиров № 1 и № 2	8 <sup>*1</sup>	8 <sup>*1</sup>	—	10 <sup>*1</sup>	—	28
стойки № 3	20	20	—	15	—	15...30
стоек № 4 и № 5	12	10	—	20	—	15...45
Дискретность задания размеров, мм:						
шпиндельной бабки (координата Z)	—	—	—	—	0,001	—
поперечных суппортов	—	—	—	—	0,0005	—
Мощность главного привода, кВт	1	1,5	1,5	2,2	5,5	3,1/4,7
Габаритные размеры (без поддерживающей трубы):						
длина	1050	1250	1250	1460	5600 <sup>*3</sup>	2360
ширина	690	810	810	870	900	1150
высота	1345	1430	1450	1450	1720	1630
Масса, кг	400	630	650	840	2270	1700

\*1 На оба реза.

\*2 Регулирование частоты вращения шпинделя бесступенчатое.

\*3 С приставным оборудованием.

## 15. Токарные многошпиндельные горизонтальные прутковые автоматы

Размеры, мм

Параметр	1216-4К	1Б240-4К	1Б265-4К	1Б290-4К	1216-6К	1Б225-6К	1Б240-6К
Наибольший диаметр обрабатываемого прутка	20	50	80	125	16	25	40
Наибольшая длина подачи прутка	100	180	200	250	100	150	180
Наибольший ход поперечных суппортов:							
и нижних	40	80	80	125	40	40	80
верхних	40	80	90	100	40	40	80
заднего среднего	—	—	—	—	40	40	80
отрезного	—	—	—	—	30	30	50
Наибольший ход продольного суппорта	80	180	200	275	80	160	180
Частота вращения шпинделей, мин <sup>-1</sup> :							
нормальное исполнение	279...1995	125...1230	61...755	50...508	370...2650	280...3000	140...1600
быстроходное исполнение	—	125...1600	61...1050	50...810	600...4400	600...4400	140...2500
Наибольшая подача, мм/об:							
продольного суппорта	1,7	6,6	3,2	8,4	1,7	2,3	6,6
поперечных суппортов	0,4	0,33	1,4	2,0	0,4	0,7	3,3
Мощность главного привода, кВт	7,5	13	30	30...40	7,5	11	15
Габаритные размеры:							
длина	5385	6170	5460	7945	5385	5700	6170
ширина	1000	1750	1830	2130	1000	1276	1750
высота	1520	1985	2170	2425	1520	1700	1985
Масса, кг	4000	10 000	14 500	20 900	4000	6000	10 000

Окончание табл. 15

Параметр	1Б265-6К	1Б290-6К	1Б225-8К	1Б240-8К	1Б265-8К	1Б290-8К
Наибольший диаметр обрабатываемого прутка	65	100	20	32	50	80
Наибольшая длина подачи прутка	200	250	150	180	200	250
Наибольший ход поперечных суппортов:						
нижних	80	125	55	80	70	125
верхних	80	100	55	80	80	100
заднего среднего	70	125	55	70	70	100
отрезного	70	65	30	50	70	65
Наибольший ход продольного суппорта	200	275	125	180	200	275
Частота вращения шпинделей, мин <sup>-1</sup> :						
нормальное исполнение	73...1065	70...660	320...3200	140...1720	97... 1176	80...706
быстроходное исполнение	73...1590	70...930	400...4000	140...2800	97...1810	80...1200
Наибольшая подача, мм/об:						
продольного суппорта	3,2	5,9	2,5	4,6	3,2	5,3
поперечных суппортов	1,4	1,4	0,7	3,3	1,4	1,2
Мощность главного привода, кВт	30	30...40	15	13	30	30...40
Габаритные размеры:						
длина	6265	7945	5828	6170	6130	7985
ширина	1830	2465	1336	1750	1830	2475
высота	2170	2425	1920	1985	2170	2425
Масса, кг	14 500	22 000	6500	10 000	14 500	22 500

Примечания: 1. Все автоматы повышенной точности.

2. Четырехшпиндельные автоматы имеют четыре поперечных и один продольный суппорты, остальные автоматы имеют шесть поперечных и один продольный суппорты.

3. Шести- и восьмишпиндельные автоматы выпускают также с двойной индексацией, т.е. они могут работать соответственно как два трехшпиндельных или два четырехшпиндельных автомата.

## 16. Токарные многошпиндельные горизонтальные патронные полуавтоматы

Размеры, мм

Параметр	1Б240П-4К	1Б265П-4К	1Б290П-4К	1Б225П-6К	1Б240П-6К	1Б265П-6К	1Б290П-6К	1Б225П-8К	1Б240П-8К	1Б265П-8К	1Б290П-8К
Наибольший диаметр патрона	160	200	250	100	150	160	200	80	125	150	160
Наибольшая длина обработки	160	190	200	105	160	175	200	105	160	150	160
Число поперечных суппортов	4	4	4	5	5	5	5	5	6	6	6
Наибольший ход поперечных суппортов:											
нижних	80	80	125	65	80	80	125	55	80	70	125
верхних	80	90	123	65	80	80	100	55	80	80	100
заднего среднего	-	-	-	65	80	80	125	55	70	80	100
Наибольший ход продольного суппорта	180	200	275	125	180	200	275	125	180	200	275
Частота вращения, шпинделей, мин <sup>-1</sup> :											
нормальное исполнение	63... 1048	62... 755	42... 553	120... 1700	80... 1140	78... 805	42... 617	140... 2000	85... 1400	97... 814	48... 800
быстроходное исполнение	63... 1320	62... 900	42... 800	200... 2800	80... 1610	78... 1160	42... 900	210... 2800	85... 1820	97... 1290	48... 1000
Наибольшая подача, мм/об:											
продольного суппорта	6,6	3,2	8,4	2,6	6,6	2,5	5,9	2,5	4,6	3,2	5,3
поперечных суппортов	0,33	1,4	2,0	0,7	3,3	1,1	1,4	0,7	3,3	1,4	1,2
Мощность главного привода, кВт	13	30	30...40	15	17	30	30...40	15	17	30	30...40
Габаритные размеры:											
длина	4330	4675	4785	4105	4330	4675	4785	4105	4330	4675	4785
ширина	1600	1690	2160	1320	1600	1690	2160	1320	1600	1690	2160
высота	1985	2170	2475	1920	1985	2170	2475	1920	1985	2170	2475
Масса, кг	9000	14500	18100	5800	9000	1450	18400	5800	9000	1450	18500

Примечание. Все полуавтоматы повышенной точности.

## 17. Токарные многошпиндельные вертикальные полуавтоматы

Размеры, мм

Параметр	1К282	1283	1Б284	1286-8; 1А286-8	1А286-6
Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки	250	400	360	500	630
Число шпинделей	8	8	6	8	6
Частоту вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup> :					
при нормальном исполнении	42...628	28...410	20...224	20...200	12,5...250
при быстроходном исполнении	66...980	43...635	—	63...630	25...500
Наибольшее перемещение суппортов (вертикальное и горизонтальное)	350	350	200	400	450; 200
Подача, мм/об	0,041...4,053	0,064...4,002	0,08...5,0	0,0315...4,0	0,028...4,0
Мощность главного привода, кВт	22, 30, 40, 50	20, 30, 40, 55, 75, 100	22 или 30	40, 55, 75, 100	110
Габаритные размеры:					
длина	3070	3252	3285	4140	4790
ширина	2945	3065	2987	4270	4790
высота	3872	3942	4040	4905	4925
Масса, кг	19 000	20 500	15 000	32 000	35 500

## 18. Токарно-револьверные станки и полуавтоматы

Размеры, мм

Параметр	1Е316	1Д316П; 1Д316	1Г325	1Г325П	1Г340; 1Г340П	1В340Ф30
Наибольший диаметр обрабатываемого прутка	18	18	25	25	40	40
Наибольшая длина подачи прутка	50	—	80	80	100	120
Наибольшие размеры обточки штучных заготовок в патроне:						
диаметр	80	80	—	120	200	—
длина	50	50	—	50	—	—
Наибольшее рабочее перемещение поперечного суппорта (ручное)	120	—	80	—	—	110
Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	100...4000	100...4000	80...3150	80...3150	45...2000	45...2000

Окончание табл. 18

Параметр	1Е316	1Д316П; 1Д316	1Г325	1Г325П	1Г340; 1Г340П	1В340Ф30
Продольная подача револьверного суппорта (шпиндельной бабки), мм/об (мм/мин)	0,04...0,4	0,04...0,4	—	0,04...0,5	0,035...1,6	(1...2500)
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	1,7 или 2,2	1,7 или 2,2	2,6 или 3	3,2 или 5,3	6,0 или 6,2	6,0 или 6,2
Габаритные размеры:						
длина	3662	1770	3980	4015	5170	2840
ширина	751	800	1000	1000	1200	1770
высота	1610	1500	1555	1500	1400	1670
Масса с приставным оборудованием, кг	1900	1028	1300	1690	3000	3600
Параметр	1Е65ПФ3	1365	1416Ц	1П416Ф3	1А425	1П426Ф3
Наибольший диаметр обрабатываемого прутка	65	65	—	—	—	—
Наибольшая длина подачи прутка	—	200	—	—	—	—
Наибольшие размеры обточки штучных заготовок в патроне:						
диаметр	—	—	160	160	250	400
длина	200	—	110	80	175	200
Наибольшее рабочее перемещение поперечного суппорта (ручное)	—	310	—	—	—	—
Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	315...2000	34...1500	50...2000	45...2000	50...1250	12,5...2500
Продольная подача револьверного суппорта (шпиндельной бабки), мм/об (мм/мин)	(3...2500)	0,09...2,7	(20...300) б/с	(0,1...1200) б/с	(15...300)	(1...1600) б/с
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	15	13	5,5	1,2 или 6,3	7,5	22
Габаритные размеры:						
длина	3400	5360	2105	1970	2570	3550
ширина	1700	1500	1405	1150	1650	2400
высота	1530	1530	1875	2040	2150	—
Масса с приставным оборудованием, кг	4200	4500	3250	4500	4850	4900

Примечания: 1. Габаритные размеры станка мод. 1Д316П без приставного оборудования и устройства ЧПУ; станок мод. 1П416Ф3 – вертикальной компоновки.

2. Станки с ЧПУ мод. 1В340Ф30, 1Е365ПФ3, 1П416Ф3, 1П426Ф3 выполняются с двумя управляемыми координатами по программе.

3. В таблице обозначено: б/с – бесступенчатое регулирование подач.

## 19. Токарно-карусельные станки

Размеры, мм

Параметр	1512	1A512MФ3	1516Ф1	1A516MФ3	1525	1A525MФ3	1A532ЛМФ3
Наибольшие параметры обрабатываемой заготовки:							
диаметр	1250	1450	1600	1800	2500	2500	3150
высота	1000	1000	1000	1600	1600	1600	2400
Наибольшее перемещение вертикального (револьверного) суппорта:							
горизонтальное	775	1315	950	1315	1390	1585	1910
вертикальное	700	800	700	1250	1200	1100	1100
Диаметр плашайбы	1120	1120	1400	1400	2250	2240	2800
Частота вращения плашайбы, мин <sup>-1</sup>	5...250	1,0...335	4...200	0,9...280	1,6...80	Бесступенчатое регулирование	
Подача суппорта вертикальная и горизонтальная, мм/мин	5...180	0,1...1000 (бесступенчатая)	0,1...1000	0,1...1000 (бесступенчатая)	0,1...1280	0,1...1000	0,1...1000
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	30	55	30	75	40	55	100
Габаритные размеры:							
длина	2875	5050	3170	5200	5065	7330	8090
ширина	2660	3950	3025	3950	5280	6475	6935
высота	4100	4790	4100	4790	4910	5300	5300
Масса, кг	16 500	26 000	21 000	27 000	35 500	47 000	55 000

Примечание. Станки 1512, 1A512MФ3, 1516, 1516Ф1, 1A516MФ3 – одноступенчатые, остальные модели двухступенчатые.

## 20. Токарно-винторезные и токарные станки

Размеры, мм

Параметр	16Т02А	16Б04А	16Б05П	16Б16А	16А20Ф3	16Л20; 16Л20П	16К20; 16К20П
Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки:							
над станиной	125	200	250	320	320	400	400
над суппортом	75	115	145	180	200	210	220
Наибольший диаметр прутка, проходящего через отверстие шпинделя	8	14	16	36	50	34	53
Наибольшая длина обрабатываемой заготовки	250	350	500	750	900	1500	710; 1000; 1400; 2000
Шаг нарезаемой резьбы:							
метрической	—	0,2...28	0,2...28	0,25...56	—	0,25...56	0,5...112
дюймовой, число	—	96...5	96...5	112...0,5	—	56...0,25	0,5...56
ниток на дюйм	—	0,1...14	0,1...14	0,25...56	—	0,5...112	0,5...112
модульной, модуль							
Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	320...3200	320...3200	30...3000	20...2000	20...2500	16...1600	12,5...1600
Наибольшее перемещение суппорта:							
продольное	65	—	540	700	905	1440	645...1935
поперечное	60	—	160	210	210	240	300
Подача суппорта, мм/об (мм/мин):							
продольная	—	0,01...0,175	0,02...0,35	0,01...0,7	—	0,05...2,8	0,05...2,8
поперечная	—	0,005...0,09	0,01...0,175	0,005...0,35	—	0,025...1,4	0,025...1,4
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	0,27	1,1	1,5	2,8; 4,6	7,5/11	3,8; 6,3	11
Габаритные размеры (без ЧПУ):							
длина	695	1310	1510	2280	3700	2920	2505...3795
ширина	520	690	725	1060	2260	1035	1190
высота	300	1360	1360	1485	1650	1450	1500
Масса, кг	350	1245	715	2100	4000	2050	2835...3685



Окончание табл. 20

Параметр	КА-280Ф	16К20Ф3	STC200	СА562	1М6ЗБФ101	16К30Ф305	СА630
Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки:							
над станиной	400	400	400	500	630	630	640
над суппортом	220	220	200	290	350	320	400
Наибольший диаметр прутка, проходящего через отверстие шпинделя	—	53	26	55	65	70	—
Наибольшая длина обрабатываемой заготовки (обработки)	970	1000	(400)	1000 (1500) (2000) (3000)	2800	1400	1000 (1500) (2000) (3000)
Шаг нарезаемой резьбы:							
метрической	—		—	0,5...112	1...224		0,5...112
дюймовой, число ниток на дюйм	—	До 20	—	56...0,5	56...0,2	До 10	56...0,5
модульной, модуль	—		—	0,5...112	—		0,5...112
Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	20...2500	2,5...200	50...3500	16...2000	10...1250	6,3...1250	8...1600
Наибольшее перемещение суппорта:							
продольное	—	900	450	—	2520	1250	—
поперечное	—	250	200	—	400	370	—
Подача суппорта, мм/об (мм/мин):							
продольная	105...2000	(3...1200)	—	0,05...2,8	0,06...1,0	(1...1200)	0,05...5,6
поперечная	105...1000	(1,5...600)	—	0,025...1,4	0,024...0,31	(1...600)	0,025...2,8
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	11	10	7	7,5	15	22	18,5
Габаритные размеры (без ЧПУ):							
длина	3700	3360	2500	2800	4950	4350	3200
ширина	2260	1710	1450	1265	1780	2200	1600
высота	1650	1750	1600	1485	1550	1600	1600
Масса, кг	4000	4000	3500	3100	5620	6300	3800

21. Токарные многорезцовые копировальные полуавтоматы и станки с ЧПУ

Размеры, мм

Параметр	1716Ц	1П717Ф3	1719	1П752МФ3	1Б732Ф3	1740РФ3	РТ-777Ф3	1П756ДФ3	1723	1А734; 1А734П	1А751; 1А751П
Наибольшие размеры обрабатываемой заготовки:											
над станиной	400	400	500	500	630	630	630	630	—	560	710
над суппортом	200	—	320	250	400	400	400	500	—	320	500
длина	750	100	1000	250; 600	1000; 2000	1400; 2000	1600	320	—	—	—
диаметр	—	—	—	—	—	—	—	—	200	—	—
высота	—	—	—	—	—	—	—	—	160/360	—500	—500
в патроне / в центрах											
Наибольшее перемещение суппорта:											
продольное или вертикальное	820	420	1250	1035	1025, 1985	1440; 2026	1010	720	420	600	600
поперечное или горизонтальное	100	160	138	350	200	385	365	480	110	240	320
Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	100... 2000	16... 2000	80... 1600	6,3... 1250	25... 1250	16... 1600	20... 2400	8... 1600	50.. 630	45... 1000	45... 710
Рабочая подача суппорта, мм/мин:											
копировального (в продольном или вертикальном направлении)	5... 1250	1... 1200* <sup>1</sup>	0,109... 1,84* <sup>2</sup>	1... 1200	5... 512	0,01... 10 000* <sup>1</sup>	—	1... 2000* <sup>1</sup>	—	10... 2000* <sup>1</sup>	10... 2000* <sup>1</sup>
поперечного (в поперечном или горизонтальном направлении)	10... 600	1... 600* <sup>1</sup>	—	1... 600* <sup>1</sup>	5... 512	0,01... 10 000* <sup>1</sup>	—	1... 2000* <sup>1</sup>	—	10... 2000* <sup>1</sup>	10... 2000* <sup>1</sup>

Окончание табл. 21

Параметр	1716Ц	1П717Ф3	1719	1П752МФ3	1Б732Ф3	1740РФ3	РТ-777Ф3	1П756ДФ3	1723	1А734; 1А734П	1А751; 1А751П
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	18,5	5,5; 8,5	40	22	22; 40	37	45	30	7	24; 34	34; 50,6
Габаритные размеры (без устройства ЧПУ):											
длина	3000	3020	3798	3565	4245; 5245	4930; 5330	5500	3200	2065	4400	4700
ширина	1480	3330	1390	2078	2140	2310	2750	2000	1490	2500	2600
высота	2200	1860	2320	2195	2835	3050	2470	2600	2300	3020	3030
Масса, кг	4500	3185	9600	9000	9600;	11 600;	9000	8000	6400	12 700	16 200
					12 100	13 100					

\*1 Изменение подачи бесступенчатым регулированием.

\*2 Подача в мм/об.

Примечание. Станки 1723, 1А734, 1А734Ц, 1А551 и 1А751П вертикальной компоновки.

## 22. Токарные многоцелевые станки

Размеры, мм

Параметр	Размеры, мм									
	ИТР180ПМФ4	СТМ220К	1П420ПФ40	СТМ320К	1740РФ4	1757Ф4	СТМ450			
Наибольший диаметр заготовки:										
устанавливаемой над станной	320	400	450	500	680	750	800			
устанавливаемой над суппортом	—	220	—	320	400	560	450			
прутка	50	—	50	—	—	—	—			
Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки	200	—	200	—	630	650	—			
Наибольшая длина обрабатываемой заготовки	160	500	130	450	1500; 2000	1000	630			

Окончание табл. 22

Параметр	ИТР180ПМФ4	СТМ220К	ИП420ПФ40	СТМ320К	1740РФ4	1757Ф4	СТМ450
Наибольшее переменное суппорта:							
продольное, ось Z	400	600	670	600	1010	1100; 1600; 2100	700
поперечное, ось X	245	280	240	335	365	420	450
Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	20...4000	12...2800	20...4000	10...2000	16...2500	10...2500	6...1400
Частота вращения инструментальных шпинделей, мин <sup>-1</sup>	40...4000	30...3000	20...2500	30...3000	1500	10...2200	30...3000
Рабочие подачи:							
по осям X и Z, мм/мин	1...5000	1...10000	2...3000	1...10 000	1...10 000	1...4000	1...10 000
по координате C, мм <sup>-1</sup>	0,02...20	—	0,008...5,5	—	—	0,1...10	—
Мощность электродвигателя, кВт:							
главного двигателя (шпинделя)	22	18,5	22	22	40; 60	30 (60)	37
инструментальных шпинделей	3,7	3,0	—	3,0	—	—	3,0
Габаритные размеры без приставного оборудования (с приставным оборудованием):							
длина	3167(4200)	4700	3150	5000	3990	5300	5900
ширина	1900 (2800)	2010	2260	1710	2490	2620	2040
высота	1650(1800)	2520	2300	2750	3100	2900	2460
Масса без приставного оборудования (с приставным оборудованием), кг	4500 (5500)	6100	5900	7000	12 800	11 200	11 200

Примечание. 20...4000 – бесступенчатое регулирование.

## СВЕРЛИЛЬНЫЕ И РАСТОЧНЫЕ СТАНКИ

## 23. Вертикально-сверлильные станки

Размеры, мм

Параметр	2Н106П	2М112	2Н118	2Н125	2Н135	2Р135Ф2-1	2Н150	2Г175
Наибольший условный диаметр сверления в стали	6	12	18	25	35	35	50	75
Рабочая поверхность стола	200 × 200	250 × 250	320 × 360	400 × 450	450 × 500	400 × 710	500 × 560	560 × 630
Наибольшее расстояние от торца шпинделя до рабочей поверхности стола	250	400	650	700	750	600	800	850
Наибольший ход шпинделя	—	100	150	200	250	—	300	—
Наибольшее вертикальное перемещение:								
сверильной (револьверной) головки	130	300	300	170	170	560	250	710
стола	—	—	350	270	300	—	360	—
Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	1000...8000	450...4500	180...2800	45...2000	31...1400	45...2000	22...1000	18...800
Подача шпинделя (револьверной головки), мм/об		Ручная		0,1... 1,6	0,1... 1,6	10...500 мм/мин	0,05...2,24	0,018...4,5
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	0,4	0,6	1,5	2,2	4,0	3,7	7,5	11
Габаритные размеры:								
длина	560	770	870	915	1030	1800	1355	1420
ширина	405	370	590	785	825	2170	890	1920
высота	625	820	2080	2350	2535	2700	2930	3385
Масса, кг	80	120	450	880	1200	4700	1870	4250

Примечания: 1. Станки 2Н106П и 2М112 настольные.

2. Станок 2Р135Ф2-1 с шестипозиционной револьверной головкой и крестовым столом.

24. Радиально-сверлильные станки

Размеры, мм

Параметр	2554	2Ш55	2М57	2М58-1
Наибольший условный диаметр сверления в стали	50	50	75	100
Наибольшее перемещение: вертикальное, рукава на колонне горизонтальное, сверлильной головки по рукаву (или рукав на колонне)	1000 1250 400	1250 750 400	1100 1500 —	1500 2650 630
Наибольшее вертикальное перемещение шпинделя	18...2000	10...1000	12,5...1600	10...1250
Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	0,05...5,0	0,1...1,12	0,063...3,15	0,063...3,15
Подача шпинделя, мм/об	5,5	4	7,5	13
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	2685	4280	3500	4850
Габаритные размеры: длина	1028	1650	1630	1830
ширина	3390	3550	4170	4885
высота	4750	8000	10 500	18 000
Масса, кг				

Примечание. Станок 2Ш55 переносной, рукав станка перемещается в вертикальном и горизонтальном направлениях, сверлильная головка может поворачиваться в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

25. Координатно-расточные и координатно-шлифовальные станки

Размеры, мм

Параметр	2421	2431	2Д450	2Е450АФ1	2Е440А	2455	2Е460АФ1	2Е470АФ1	2А620Ф11	3283С
Размеры рабочей поверхности стола	250 × 450	320 × 560	630 × 1100	630 × 1120	400 × 710	430 × 900	1000 × 1600	1400 × 2240	1120 × 1250	320 × 560
Наибольшее перемещение: стола: продольное	320	400	1000	1000	630	800	1400	2000	1000	400
поперечное	200	250	630	630	400	—	—	—	1250	250

Окончание табл. 25

Параметр	2421	2431	2Д450	2Е450АФ1	2Е440А	2455	2Е460АФ1	2Е470АФ1	2А620Ф11	3283С
Гильзы шпинделя (или шпинделя) шпиндельной бабки:	100	150	270	260	200	220	360	360	710	100
вертикальное	200	230	330	310	270	—	720	920	1000	280
горизонтальное (поперечины)	—	—	—	—	—	630 (500)	1000 (720)	1400 (900)	—	—
Наибольший диаметр:										
сверления в стали	10	18	30	30	25	30	40	40	—	—
растачивания (или шлифования)	80	125	250	250	250	250	320	320	—	3...220
Частота вращения шпинделя (или шпиндельного круга), мин <sup>-1</sup>	135... 3000	75... 3000	50...2000	10...2000	50...2000	—	10...2000	10...2000	10...1600	—
Поддача, мм/мин (мм/об):										
шпинделя	(0,015...0,06)	(0,02...0,2)	(0,03...0,16)	1,2...1000	(0,03...0,16)	2,5...500	—	—	2...2000	0...5000
стола	—	22...600	30...300	0,4... 6000	20...315	2,5...500	0,8...630	0,8...630	1,25...1250	1...600
шпиндельной бабки	—	—	—	—	—	2,5...500	0,8...630	0,8...630	1,25...1250	750
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	1,0	1,9; 2,2	2,0	7,2	4,5	4,5	8,5 × 2	8,5 × 2	11	0,5
Габаритные размеры:										
длина	1790	1780	3305	3028	2440	2910	4665	6015	7600	1600
ширина	900	1330	2705	3765	2195	2240	3440	4060	4000	1580
высота	2020	2430	2800	3000	2385	2680	4170	4610	3220	2340
Масса, кг	1985	3435	7800	7990	3400	7000	17 000	33 000	17 000	3850

Примечания: 1. Станки 2455, 2Е460АФ1, 2Е470АФ1 двухстоечные, остальные — одностоечные.  
 2. Станок 3283С координатно-шлифовальный.  
 3. Станки 2421, 2431 и 3283С особо точные.  
 4. Станки 2Е460АФ1 и 2Е470АФ1 с двумя шпиндельными головками (вертикальной и горизонтальной).

26. Многоцелевые вертикальные станки

Размеры, мм

Параметр	250V	400V	500V	600V	SV-500	SV-1100	ГДВ500	2254BM4	2С150ПМФ4	ГФ2171С6	65А90ПМФ4М	6М612МФ4
Размеры рабочей поверхности стола (паллеты)	250 × 630	400 × 900	500 × 1000	600 × 1250; 600 × 1600	350 × 660	500 × 1250	500 × 630	400 × 630	500 × 1000	400 × 1600 × 1600	1000 × 1600 × 1600	1250 × 4000
Программируемые перемещения по осям:												
X	500	560	1000	1000 (1400)	500	-	710	500	800	1010	1590	4500
Y	260	400	500	600	350	-	540	500	500	400	990	2800
Z	400	460	460	600	400	-	530	500	750	250	690 (990)	1000
Вместимость инструментального магазина (по заказу), шт	-	20	20	20 (40)	32	32	30	30	16 (32)	12	24	40
Наибольший диаметр сверления	16	25	-	40	-	-	40	-	40	30	50	75
Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	max 3000	80... 8000	max 8000	80... 8000	100... 10 000	100... 10 000	20... 6000	40... 2500	28... 3500	50... 2500 (Z = 18)	5... 2000	10... 1600



Окончание табл. 26

Параметр	250V	400V	500V	600V	SV-500	SV-1100	ГДВ500	2254ВМ4	2С150ПМФ4	ГФ2171С6	65А90ПМФ4М	6М612МФ4
Рабочие подачи по осям X, Y, Z, мм/мин	1...1000	-	-	-	-	-	1...10 000	1...10 000	1...5000	3...6000	1...7000	3...10 000 Z=3...6000
Мощность электро-двигателя привода главного движения, кВт	1,5	5,5; 7,5	5,5; 7,5	11; 15	5,5; 7,5	9; 11	9	6,3	11; 15	7,5; 11	20	37; 45
Габаритные размеры (с приставным оборудованием):												
длина	2000	2330	2800	2700	3830	3720	(5015)	4300; (5000)	3100; (3785)	3350	5370	12 100
ширина	1300	2620	2700	2900	1580	2210	(3900)	3500; (4900)	2700; (3035)	4170	5320	7800
высота	-	2640	3200	3100	2290	2586	(3052)	3800; (3800)	3500; (3500)	3150	4380	5800
Масса (с приставным оборудованием), кг	1500	3700	4500	7500	7500	9500	(10500)	6500; (8750)	5600; (6130)	6580	24 000	54 000

Примечание. 40...2500 – бесступенчатое регулирование; 50...2500 (Z = 18) – ступенчатое регулирование.

## 27. Горизонтально-расточные станки

Размеры, мм

Параметр	2М615	2620ВФ1; 2620ГФ1	2636Ф1	2637ГФ1	2622ВФ1
Диаметр выдвижного шпинделя	80	90	125	160	110
Размеры встроенного (или съемного) поворотного стола	900 × 1000	1120 × 1250	1600 × 1800	1600 × 1800	1120 × 1250
Наибольшее перемещение:					
вертикальное шпиндельной бабки	800	1000	1400	1400	1000
продольное выдвижного шпинделя	500	710	1000	1000	710
радиального суппорта планшайбы стола:	125	160	200	—	—
продольное	1000	1120	1600	1120	1120
поперечное	1000	1000	1800	1800	1000
поперечное передней стойки	—	—	—	—	—
Частота вращения, мин <sup>-1</sup> :					
шпинделя	20...1600	12,5...1600	6,3...1000	5...800	12,5...1250
планшайбы	8...200	8...200	4...200	—	—
Подача, мм/мин:					
шпинделя	2,5...2000	2,2...1760	1,6...1600	1,6...1600	2,2...1760
шпиндельной бабки стола (продольная и поперечная)	1,6...1280	1,4...1100	1...1000	1...1000	1,4...1110
радиального суппорта планшайбы	1,0...800	0,88...700	0,63...630	—	—
передней стойки	—	—	—	—	—
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	4,5; 6,7	8,3; 10,2	19	19	8,3; 10,2
Габаритные размеры:					
длина	4330	5700	8160	6960	5700
ширина	2590	3650	5070	5070	3650
высота	2585	3100	4805	4805	3100
Масса, кг	8500	12 900	35 700	32 000	12 600

Окончание табл. 27

Параметр	2636ГФ2; 2637ГФ2	2650Ф1; 2650Ф2	2Е656Р	2651Ф1; 2651Ф2	2Б660Ф1
Диаметр выдвижного шпинделя	160	160	160	200	220
Размеры встроенного (или съемного) поворотного стола	1600 × 1800	2240 × 2500	2000 × 2500	2240 × 2500	Плита из трех секций 5000 × 8100
Наибольшее перемещение:					
вертикальное шпиндельной бабки	1400	2500; (560 продольное)	2000	2500; (560 продольное)	3000
продольное выдвижного шпинделя	1000	1250	1250	1250	1800
радиального суппорта	—	250	200	—	550
плайшайбы стола:					
продольное	1120	1250	1000	1250	—
поперечное	1600	—	—	—	—
поперечное передней стойки	—	4000	3200	4000	6000
Частота вращения, мин <sup>-1</sup> :					
шпинделя	5...1000	4...800	7,5...900	4...800	1...510
планшайбы	—	2,5...160	7,5...190	—	1...135
Подача, мм/мин:					
шпинделя	1,6...1600	1,25...1250	2...150	1,25...1250	1...2500
шпиндельной бабки	1...1000	0,8...800	1...750	0,8...800	1,25...2500
стола (продольная и поперечная)	1...1000	0,8...800	1...750	0,8...800	—
радиального суппорта планшайбы	—	0,8...800	1...750	—	0,2...400
передней стойки	—	0,8...800	1...750	0,8...800	0,2...400
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	19	37	18,5	37	55
Габаритные размеры:					
длина	6960	11 600	11 500	11 600	11 350
ширина	5070	11 650	8100	11650	11 280
высота	4805	6700	5300	6700	7800
Масса, кг	32 000	76 400	48 600	76 400	141 600

## 28. Горизонтальные отделочно-расточные полуавтоматы с подвижным столом

Размеры, мм

Параметр	2705П/2705В	2706П/2706В	2706А/2706С	2711П/2711В	2712П/2712В	2713П/2713В	2714П/2714В
Диаметр обрабатываемых отверстий	8...280	8...250	32...250	8...280	8...250	8...250	8...280
Размеры рабочей поверхности стола	320 × 500	320 × 500	320 × 500	500 × 710	320 × 500	800 × 1000	800 × 1000
Ход стола	360	450	450	560	710	560	—
Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup> , при типоразмере головки:							
I	5000 / 4000		6000 / 5000			5000 / 4000	
II	3150 / 2500		4000 / 3150			3150 / 2500	
III	2000 / 1600		2500 / 2000			2000 / 1600	
IV	1250 / 1000		1500 / 1250			1250 / 1000	
Габаритные размеры:							
длина	1550	2000	2700	2240	2650	2430	3870
ширина	1220	1220	1450	1500	1500	1550	1850
высота	1450	1450	1700	1550	1550	1550	1550
Масса, кг	2800	3600	4000	4400	5400	6100	10 500

Примечания: 1. Полуавтоматы 2705П, 2705В, 2711П, 2711В, 2713П, 2713В односторонние, остальные — двусторонние.

2. Рабочая подвaca стола (регулирование бесступенчатое) для всех моделей станков 8...800 мм/мин.

3. Мощность электродвигателя расточных головок для всех моделей станков 1,5...5 кВт.

## 29. Многоцелевые горизонтальные станки

Размеры, мм

Параметр	ИР200ПМФ4	ИР320ПМФ4	2204ВМФ4	ИР500ПМФ4	ИС500ПМФ4	"Супер-центр ИС 630"	"Супер-центр ИС 800"
Размеры рабочей поверхности стола или палеты (диаметр поворотной части стола)	200 × 200	320 × 320	400 × 500 (630)	500 × 500; 630 × 630	500 × 500	630 × 630	800 × 800
Программируемые перемещения по осям:							
X	360	400	500	800	1000	800	1200
Y	250	360	500	500	630	710	1000
Z	320	400	500	500	800	630	1200
W	—	—	—	—	—	—	—
Вместимость инструментально-го магазина (по заказу), шт	24 (80)	36	30	30 (60)	64 (40; 100)	50 (60)	50 (70)
Частота вращения, мин <sup>-1</sup> :	50...7100	13...5000	32...2000	20...4500	8...4500	До 12 000	40...12 000
шпинделя стола	0,002...16	0,05...200	10	—	—	30	—
Рабочие подачи по осям X, Y, Z, И, мм/мин	1...7100	1...3200	2,5...2500	1...3600	1...6000	1...6000	1...6000
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	5,5; 7,5	7,5	6,3	18	22; 30	22	30
Габаритные размеры (с прнставным оборудованием):							
длина	(3840)	3990	3085 (4510)	(4450)	4750 (4750)	5070	7220
ширина	(3020)	2300	2000 (4460)	(4635)	5813 (7560)	3600	4740
высота	(2560)	2507	2475 (2800)	(3205)	3650 (3650)	3640	4330
Масса (с прнставным оборудованием), кг	(7180)	8000	7000 (7600)	(12 785)	14 070 (18 525)	16 000	22 000

Окончание табл. 29

Параметр	2206ВМФ4	ИР800ПМФ	2А459АМФ4	2627ПМФ4	2628МФ4	ИР1400ПМФ4	2В622Ф4; 2В622МФ4
Размеры рабочей поверхности стола или паллеты (диаметр поворотной части стола)	630 × 800	800 × 800	1000 × 1000	1250 × 1250	1600 × 2000	1600 × 2000; 2000 × 2500	1250 × 1250
Программируемые перемещения по осям:							
X	630	1000	800	2000	4000	2000; 2500	1250
Y	630	710	1000	1600	2500	1600	1000
Z	800	800	1250	1250	1250	1000	1000
W	—	—	—	710	710	1600; 2000	710
Вместимость инструментального магазина (по заказу), шт	30	30	30 (40)	60	60	100	40; 50; 60
Частота вращения, мин <sup>-1</sup> :							
шпинделя	31,5...2500	21,2...3000	20...2500	6...2500	6...2500	5...1600	6...2000
стола	—	—	—	—	—	—	—
Рабочие подачи по осям X, Y, Z, W, мм/мин	1...4000	1...3600	2...2500	1...10 000	1...10 000	1...2000	1...7000
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	11	14	14	22	37	52	22
Габаритные размеры (с приставным оборудованием):							
длина	3470 (5480)	(5388)	6500 (6870)	8600	9000	8800	6350
ширина	3170 (5115)	(5300)	5800 (5350)	6800	9400	5800	4130
высота	2930 (3130)	(3455)	3685 (3800)	4700	5900	5930	3980
Масса (с приставным оборудованием), кг	12 000 (15 000)	(13 895)	20 000	28 800	35 000	53 000 (57 000)	17 500

Примечание. 50...7100 — бесступенчатое регулирование.

## 30. Вертикальные отделочно-расточные станки

Размеры, мм

Параметр	2776В	2777В	2Е78П	2Е78Л
Диаметр растачиваемых отверстий	8...350	8...350	28...200	28...200
Наибольший диаметр сверления в сплошном материале	—	—	15	15
Размеры рабочей поверхности стола	630 × 1250	800 × 1400	500 × 1000	500 × 1250
Наибольшие перемещения:				
шпиндельной бабки	—	—	500	500
стола:				
продольное	400	630	800	—
поперечное	400	630	200	—
Число сменных шпинделей	—	—	5	4
Величина радиального перемещения реза для шпинделей диаметром 48; 78; 120	—	—	4; 6; 6	4; 6; 6
Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	4000; 2500 2000; 1000	4000; 2500 2000; 1000	26...1200	26...1200
Рабочая подача шпиндельной бабки, мм/мин	6...500 <sup>*1</sup>	4...300 <sup>*1</sup> ; 6...500 <sup>*1</sup>	0,025...0,2	0,025...0,2
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	1,5...12 <sup>*2</sup>	1,5...12 <sup>*2</sup>	2,2	2,2
Габаритные размеры:				
длина	2000	2240	1750	1250
ширина	1120	1400	1560	1260
высота	3820	4070	2125	1750
Масса, кг	9000	13 000	2680	1600

<sup>\*1</sup> Рабочая подача стола.<sup>\*2</sup> В зависимости от наладки.

Примечание. Станки 2776В и 2777В с подвижными головками, станок 2Е78П одношпиндельный соответственно с неподвижным столом. Станок 2Е78Л одношпиндельный с неподвижным столом, облученный.

## ШЛИФОВАЛЬНЫЕ СТАНКИ

## 31. Круглошлифовальные станки

Размеры, мм

Параметр	3У10В	3А110В	3М150	3М153	3М151	3У12В
Наибольшие размеры устанавливаемой заготовки:						
диаметр	100	140	100	140	200	200
длина	160	200	360	500	700	500
Наибольший диаметр шлифования:						
наружного	3...15	3...30	10...45	50	60	60
внутреннего	40	5...25	—	—	—	20...50
Наибольшая длина шлифования:						
наружного	160	180	340	450	700	450
внутреннего	50	50	—	—	—	40
Высота центров над столом	80	115	75	90	125	125
Наибольшее продольное перемещение стола	200	250	400	500	705	500
Угол поворота стола, °:						
по часовой стрелке	6	5	6	6	3	8,5
против часовой стрелки	7	6	7	7	10	8,5
Частота вращения, мин <sup>-1</sup> , шпинделя заготовки с бесступенчатым регулированием	100...950	100...1000	100...1000	50...1000	50...500	55...900
Наибольшие размеры шлифовального круга:						
наружный диаметр	250	250	400	500	600	400
высота	20	25	40	63	100	40
Перемещение шлифовальной бабки:						
наибольшее	60	60	80	100	185	100
на одно деление лямба	0,0025	0,0025	0,002	0,0025	0,005	0,002
за один оборот толчковой рукоятки	0,00125	0,001	0,0005	0,001	0,001	0,0005



Продолжение табл. 31

Параметр	ЗУ10В	ЗА110В	ЗМ150	ЗМ153	ЗМ151	ЗУ12В	
Частота вращения шпинделя шлифовального круга, $\text{мин}^{-1}$ , при шлифовании: наружном внутреннем	1910 —	2680; 3900 40 000; 70 000	2350; 1670 —	1900 —	1590 —	2390; 2000; 1670 16 000	
Скорость врезной подачи шлифовальной бабки, мм/мин	0,05...0,5	—	0,05...5	0,05...5	0,1...4	0,025...15	
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	1,1	2,2	4	7,5	10	5,5	
Габаритные размеры							
длина	1360	1880	2500	72700	4605	3600	
ширина	1715	2025	2220	2540	2450	2260	
высота	1690	1750	1920	1950	2170	2040	
Масса, кг	1980	2000	2600	4000	5600	4200	
Параметр	ЗУ13М	ЗТ160	ЗМ161Е	ЗМ163В	ЗУ142	ЗМ174Е	ЗМ194
Наибольшие размеры устанавливаемой заготовки:							
диаметр	280	280	280	280	400	400	560
длина	700	—	700	1400	1000	2000	4000
Рекомендуемый (или наибольший) диаметр шлифования:							
наружного	60	20...280	90	60	80	120	350
внутреннего	30...100	—	—	—	30...200	—	—
Наибольшая длина шлифования:							
наружного	710	130	130	1400	1000	1800	3800
внутреннего	125	—	—	—	125	—	—
Высота центров над столом	185	160	160	160	240	210	520
Наибольшее продольное перемещение стола	700	700	700	1400	1000	2000	4240

Окончание табл. 31

Параметр	ЗУ131М	ЗТ160	ЗМ161Е	ЗМ163В	ЗУ142	ЗМ174Е	ЗМ194
Угол поворота стола, °: по часовой стрелке против часовой стрелки	3 10	1 1	3 8	3 7	3 8	2 6	0,5 6
Частота вращения, мин <sup>-1</sup> , шпинделя заготовки с бесступенчатым регулированием	40...400	55...620*	50...620*	55...620	30...300	20...180	12...120
Наибольшие размеры шлифовального круга:							
наружный диаметр	600	750	750	750	600	750	750
высота	50	130	130	200	63	100	100
Перемещение шлифовальной бабки:							
наибольшее	290	190	290	290	290	365	250
на одно деление лимба	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,0025...0,05	0,005
за один оборот толчковой рукоятки	0,001	—	0,001	0,001	0,001	—	0,005
Частота вращения шпинделя шлифовального круга, мин <sup>-1</sup> , при шлифовании:							
наружном	1112	1250	1270	1260	1112	1270	600...1300
внутреннем	16 900	—	—	—	16 900	—	—
Скорость врезной подачи шлифовальной бабки, мм/мин	—	0,1...3	0,1...3	0,1...4,5	—	—	—
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	5,5	17	18,5	13	7,5	30	25
Габаритные размеры:							
длина	5500	3754	3480	5026	6310	6710	14 065
ширина	2585	4675	4345	2930	2585	3100	3615
высота	1982	2245	2170	2170	1982	2100	2450
Масса, кг	5960	8110	8880	9220	7600	11 500	34 300

\* Со ступенчатым регулированием.

Примечание. Станок ЗТ160 торцециркушлифовальный; станок ЗМ161Е круглошлифовальный врезной; станки ЗМ153А, ЗУ120А и ЗУ12УА, особо высокой точности.

## 32. Бесцентрово-шлифовальные полуавтоматы

Размеры, мм

Параметр	ЗД180	ЗМ182А	ЗШ182Д	ЗМ184И	ЗШ184Д	ЗМ185
Размеры обрабатываемой заготовки: наружный диаметр внутренний диаметр	0,2...12 —	0,8...25 —	0,8...25 —	3...80 —	3...80 —	8...160 —
Длина обработки при сквозном шлифовании, не более	60	170	290	250	270	320
Длина обработки при врезном шлифовании, не более	35	95	290	145	540	195
Размеры шлифовального круга: диаметр высота	200 40	350 100	350 300	500 150	500 550*	600 200
Размеры ведущего круга: диаметр высота	150 40	250 100	250 300	350 150	350 550*	350 300*
Частота вращения, $\text{мин}^{-1}$ , круга: шлифовального	3325	1910	500; 740; 970; 1480	2300	420; 530; 710; 1070	1100
ведущего (или заготовки)	40...30	10...150	20...150	11...150	11...120	15...100
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	1,5	5,5	3,3; 5,8; 8,1; 8,5	30	5,6; 9,0; 12; 15	22
Габаритные размеры (с приставным оборудованием): длина ширина высота	1550 1500 1530	2560 1560 2120	2700 2300 2120	3220 2375 2255	3750 2750 2255	3920 2620 1950
Масса (с приставным оборудованием), кг	1573	3740	4432	7400	8500	8800

Окончание табл. 32

Параметр	ЗШ185	ЗА474В	ЗА475В	ЗА484ГВ	ЗА485В	Л297С1; Л297С2
Размеры обрабатываемой заготовки: наружный диаметр внутренний диаметр	10...160 —	20...87 15...55	62...160 —	35...100 25...85	160 60...150	10...200 —
Длина обработки при сквозном шлифовании, не более	320	—	—	—	—	6000
Длина обработки при врезном шлифовании, не более	800	—	—	—	—	—
Размеры шлифовального круга: диаметр высота	600 800*	400; 500 10...40	400; 500 10...63	20...70 32	110 63	600 500*
Размеры ведущего круга: диаметр высота	350 800*	— —	— —	— —	— —	400 550*
Частота вращения, $\text{мин}^{-1}$ , круга: шлифовального	1100	1900; 3000	1900	12 000; 48 000	6000; 24 000	1135; 1460
Мощность (или заготовки) главного двигателя, кВт	10...100 55	200...1400 11	100...1000 15	300...1000 2,2; 5,5	150...450 5,5; 7,5	20...70 30; 45; 55
Габаритные размеры (с приставным оборудованием): длина ширина высота	4515 3095 2786	2410 1210 2388	2410 1210 2388	2510 1300 2200	2510 1300 2200	5047 2540 2230
Масса (с приставным оборудованием), кг	13 180	5050	5300	4600	4700	9640

\* Высота набора кругов.

Пр и м е ч а н и е. Полуавтоматы ЗШ180, ЗМ184И и ЗМ185 высокой точности; полуавтомат ЗМ182А особо высокой точности. Станки ЗШ182Д и ЗШ184Д – бесцентрово-шлифовальные доводочные; станки ЗА474В и ЗА475В – бесцентрово-шлифовальные круглошлифовальные автоматы; станки ЗА484ГВ и ЗА485В – бесцентрово-шлифовальные внутришлифовальные автоматы; станки Л297С1 и Л297С2 – автоматы бесцентровые круглошлифовальные.

## 33. Внутришлифовальные станки

Размеры, мм

Параметр	3К225В; 3К225А	3К227В; 3К227А	3К228В; 3К228А	3К229В
Наибольший диаметр:				
устанавливаемой заготовки	200	400	560	800
устанавливаемой заготовки в кожухе	100	250	400	630
Наибольшая длина:				
устанавливаемой заготовки	50	125	200	320
при наибольшем диаметре отверстия шлифования	—	125	200	320
Диаметр шлифуемых отверстий	3...25	5...150	50...200	100...400
Наибольший ход стола	320	450	630	800
Наибольший угол поворота бабки заготовки, °	45	45	30 (наим.)	30 (наим.)
Наибольшие диаметр и высота шлифовального круга	25 × 25	80 × 50	180 × 63	200 × 63
Скорость движения стола, м/мин:				
при правке шлифовального круга	0,1...2	0,1...2	0,1...2	0,1...2
при шлифовании	1...7	1...7	1...7	1...7
при быстром продольном подводе и отводе	10	10	10	10
Частота вращения, мин <sup>-1</sup> , шпинделя:				
внутришлифовального	20 000... 100 000	9000; 12 000; 18 000; 22 000	4500; 6000; 9000; 12 000	3500; 4500; 6000
бабки заготовки	280...2000	60...120	100...600	40...240
торцешлифовального приспособления	11 500	5600	4000	4000
Мощность электродвигателя привода шлифовального круга, кВт	0,76 (бабки заготовки)	4	5,5	7,5
Габаритные размеры (с приставным оборудованием):				
длина	2225	2815	4005	4630
ширина	1775	1900	2305	2405
высота	—	1750	1870	2000
Масса (с приставным оборудованием), кг	2800	4300	6900	8600

Примечание. Для станка 3К227А диаметр шлифуемых отверстий 20...150 мм.

## 34. Шлифовальные станки

Размеры, мм

Параметр	<u>3451</u> 3451B	<u>3Б451-II</u> 3В451-IV	<u>3452B-V</u> 3452B-VII	3П451	МШ314
Наружный (шлифуемый) диаметр шлицевого вала	25...125	14...125	80...400	35...100	14...230
Длина шлифуемой заготовки	<u>200...710</u> 200...1400	<u>100...700</u> 100...1400	<u>300...2000</u> 300...4000	200...710	200...2000
Наибольшая длина шлифуемых шлицев	<u>550</u> 1250	<u>650</u> 1350	<u>1750</u> 3750	60...380	50...1850
Число шлифуемых шлицев	3...96	2...98	8...120	3...98	2...98
Размеры рабочей поверхности стола	<u>1500 × 250</u> 2360 × 250	<u>220 × 1950</u> 220 × 2650	<u>540 × 4280</u> 540 × 6275	250...1500	220...3250
Продольное перемещение стола	<u>200...660</u> 200...1620	<u>200...990</u> 200...1690	<u>300...2800</u> 300...4800	200...660	120...2290
Скорость продольного перемещения стола (бесступенчатое регулирование), м/мин	1...15	0,5...30	1...10	2...10	0,5...24
Наибольшее вертикальное перемещение шлифовальной бабки	150	180	300	100	180
Частота вращения шлифовального круга, мин <sup>-1</sup>	2880; 4550; 6300	4430; 5760, 8860	1500...3000	2880; 4550; 6300	4550; 5830; 8900
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	3	3	6	3	4
Габаритные размеры (с приставным оборудованием):					
длина	<u>2820</u> 4850	<u>3475</u> 4875	<u>9100</u> 12 900	2600	6070
ширина	1513	1400	2150	1513	1685
высота	1900	1650	2235	1905	1650
Масса (с приставным оборудованием), кг	<u>3900</u> 6200	<u>7180</u> 8672	<u>20 500</u> 27 200	4180	9347

## 35. Универсально-заточные станки

Размеры, мм

Параметр	3М642	3Д642Е
Наибольшие размеры обрабатываемой заготовки, устанавливаемой в центрах:		
диаметр	250	250
длина	500	500
Размеры рабочей поверхности стола	140 × 800	140 × 800
Продольное перемещение стола	400	400
Угол поворота стола в горизонтальной плоскости, °	±45	±45
Перемещение шлифовальной бабки:		
вертикальное	250	250
поперечное	230	230
Диаметр шлифовального круга	200	200
Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	2240...6300	2240...6300
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	1,1/1,5	1,1/1,5
Габаритные размеры:		
длина	1650	1800
ширина	1470	1470
высота	1625	1625
Масса, кг	1400	1650

## 36. Электрохимические заточные станки

Размеры, мм

Параметр	3622Э	3623	3626Э
Наибольшая высота затачиваемых резцов	32	50	50
Диаметр шлифовального круга	150	200	150
Частота вращения шлифовального круга, мин <sup>-1</sup>	2540	2100	2540
Размеры рабочей поверхности стола	400 × 220	400 × 220	400 × 200
Ход шлифовальной бабки	25	30	65
Скорость продольного перемещения круга, дв. ход/мин	50	60; 95	0,2...3 м/мин
Мощность привода круга, кВт	1,5	2,2	1,5
Напряжение, В	6	4; 6; 8	6
Ток, А	100	300	320
Мощность источника технологического тока, кВт	0,6	2,4	2,0
Габариты станка в комплекте:			
длина	1400	2200	2170
ширина	1280	1250	2300
высота	1500	1665	1700
Масса станка в комплекте, кг	950	900	2100

37. Плоскошлифовальные станки с крестовым (прямоугольным) столом

Размеры, мм

Параметр	3Е710А	3Е710В-1	3Е711В	3Е711В-1	3Е721АФ1-1	3П722	3Д722Ф2	3Д723	3Д725; 3П725	3П732	3Д733
Наибольшие размеры обрабатываемых заготовок	400×125×320	250×125×200	630×200×320	400×200×320	630×320×400	1600×320×400	1250×320×250	1600×400×400	2000×630×630	800×320×375	1000×400×400
Наибольшее перемещение стола и шлифовальной бабки: продольное	490	320	700	490	700	1900	1260	1900	—	1550	1900
поперечное	170	160	250	255	395	—	410	410	660	—	—
вертикальное	—	200	320	—	—	—	415	415	645	400	400
Размеры шлифовального круга (наружный диаметр × высота × внутренний диаметр) или тип и размеры шлифовальных сегментов	200×32×76	200×25×32	250×40×76	250×40×76	300×63×127	450×80×203	450×80×203	450×80×203	500×305×100	5С100×85	5С100×85
Частота вращения шпинделя шлифовального круга, мин <sup>-1</sup>	35°	35°	35°	35°	35°	1500	1460	1450	1470	1500	35°
Скорость продольного перемещения стола (бесступенчатое регулирование), м/мин	2...35	2...25	—	2...35	2...35	3...45	3...35	3...45	3...30	3...35	3...45
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	4	1,5	4	4	7,5	15	15	17	30	22	22
Габаритные размеры (с приставным оборудованием):											
длина	2560	1310	2730	2380	3404	4780	4450	4600	6050	3800	4400
ширина	1980	1150	1801	1955	2073	2130	2190	2170	2800	2130	2215
высота	1790	1550	1915	1915	2090	2360	2360	2130	2860	2360	2510
Масса (с приставным оборудованием), кг	2300	1000	3200	3380	5000	8900	8000	9000	15 500	7730	8500

\* Максимальная скорость резания, м/с.

Примечания: 1. Габаритные размеры и масса станков 3Д722Ф2 и 3Д723 даны без приставного оборудования.  
2. Станки 3П732 и 3Д733 с вертикальным шпинделем, остальные с горизонтальным шпинделем.  
3. Станки 3Е710А и 3Е721АФ1-1 особо высокой точности.



## 38. Плоскошлифовальные станки с круглым столом

Размеры, мм

Параметр	ЗД740В	ЗД740А	ЗД754	ЗД741А	ЗП756Л	ЗП772-2
Диаметр устанавливаемой заготовки	40...400	30...400	20...400	50... 800	40... 1000	40... 200
Наибольшая высота: обрабатываемой заготовки (при номинальном диаметре шлифовального круга)	160	160	200	200	350	250
заготовки наименьшего диаметра, шлифуемой на столе	40	40	20	50	40	40
Диаметр магнитного стола	400	400	400	800; 200	1000	1000
Наибольшее продольное пере- мещение стола	400	400	380	560	555	—
Продольная подача стола, мм/об	8...30	8...30	—	12...44	—	—
Перемещение шлифовальной бабки:						
наибольшее	235	235	—	315	—	—
на одно деление лимба	0,002	0,001	0,005	0,001	0,005	0,005
Частота вращения, мин <sup>-1</sup> :						
шлифовального круга	1670	1630	1500	1330	1000	980
стола	15...180	15...180	10...56	8...96	5...30	0,25...1,4
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	11	7,5	15	11	30	30
Габаритные размеры (с пристав- ным оборудованием):						
длина	2350	2350	2030	4200	2840	5340
ширина	1970	2700	1880	2580	2535	4400
высота	2300	2300	2215	2570	2565	2660
Масса (с приставным оборудо- ванием), кг	5800	5300	5000	9700	10 300	14 800

Примечания: 1 Станок ЗП772-2 – двухшпиндельный полуавтомат непрерывного действия.

2. Станки ЗД740А и ЗД741А особо высокой точности.

3. Станки ЗД754, ЗП756Л и ЗП772-2 с вертикальным шпинделем, остальные – с горизонтальным шпинделем.

## 39. Электрохимические шлифовальные станки

Размеры, мм

Параметр	3Э731	3Э754ЛФ1	3Э70ВФ2
Размеры обрабатываемых заготовок	630 × 200 × 320	(20...500) диаметр (5...200) высота	400 × 160 × 300
Продольное перемещение стола	900	—	450
Диаметр шлифовального круга	250	300	200
Частота вращения круга, мин <sup>-1</sup>	2300	1460	2880
Вертикальное перемещение бабки, мм	320	225	200
Мощность привода круга, кВт	5,5	13	2,2
Напряжение, В	2...12	3...12	2...12
Ток, А	3200	3200	600
Выходная мощность, кВт	40	40	7,5
Габаритные размеры станка, мм:			
длина	2540	3960	1870
ширина	1380	3530	1350
высота	2330	2280	1870
Масса станка в комплекте, кг	5500	6900	1800

## ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СТАНКИ

## 40. Электрохимические копировально-прошивочные станки

Размеры, мм

Параметр	4421	4422	4А423ФЦ	4424	ЭРО-120	СЭХО-4П
Подача инструмента	Стол-Н Катод-О	Н	Н + Ц	Н	Н + ИЦ	БК
Размеры обрабатываемой детали	350 × 280 × × 80	250 × 300 × × 160	480 × 350 × × 400	480 × 850 × × 450	350 × 220 × × 100	500 × 450 × × 250
Рабочая поверхность стола	320 × 400	250 × 400	400 × 630	630 × 1000	400 × 250	500 × 500
Рабочий ход инструмента	100	200	200	400	200	250 (ход стола)
Перемещение стола:						
продольное	—	260	500	2120	—	—
поперечное	—	190	—	—	600	—
Скорость рабочей подачи, мм/мин	0,05...8	0,3...12	0,2...10	0,2...10	120 (установочная)	0,5...3,0

Окончание табл. 40

Параметр	4421	4422	4A423ФЦ	4424	ЭРО-120	СЭХО-4П
Межэлектродный зазор	0,1...0,5	0,1...0,5	0,05...1,0	0,2...0,8	0,02...0,9	0,2...0,9
Точность обработки	$\pm(0,1...0,3)$	$\pm(0,1...0,3)$	$\pm 0,1$	$\pm(0,1...0,3)$	$\pm(0,03...0,06)$	$\pm(0,05...0,1)$
Шероховатость $Ra$ , мкм	0,32...0,63	0,32...0,63	0,32...0,63	0,32...0,63	0,63...1,25	0,63...1,25
Напряжение, В	24	12 (24)	12	12	6; 8; 12	10...15
Номинальный ток, А	1600	3200	6300	12500	5000	10 000
Установочная мощность, кВт	80	100	120	300	100	160
Габаритные размеры станка:						
длина	1050	1400	1300	2500	1980	1625
ширина	820	1720	900	1860	1050	1225
высота	1750	3020	2950	3600	2480	2360
Масса, кг	1100	4500	4500	10 000	2850	1650

Примечание. Н – непрерывная подача электрода-инструмента к заготовке;

Ц – циклическая подача электрода-инструмента;

ИЦ – циклическая подача электрода-инструмента и импульсная подача технологического тока;

БК – бескамерная обработка;

О – орбитальная подача.

#### 41. Электрохимические станки для маркирования

Размеры, мм

Параметр	4401	ЭХМ-2	ЭХМ-1
Количество одновременно наносимых знаков	До 20	20	10
Размеры рабочей поверхности стола	125 × 125	140 × 100	120 × 95
Размеры маркируемой детали:			
длина	300	300	120
ширина	200	150	100
высота	100	≈ 700	≈ 500
Шероховатость маркируемой поверхности $Ra$ , мкм	1,25	0,63	0,63
Потребляемая мощность, Вт	110...160	75	50
Габаритные размеры станка:			
длина	520	230	185
ширина	470	150	105
высота	1470	350	170

## 42. Электрохимические станки для удаления заусенцев

Размеры, мм

Парамстр	4405	4406	4407	Э3-93
Ширина обрабатываемой детали	50	125	320	50...200
Размер ванны	280 × 320	420 × 320	630 × 500	300 × 300
Ход траверсы	140	200	250	300
Размеры рабочей поверхности стола	200 × 160	320 × 250	500 × 400	450 × 220
Технологический ток, А	500	1000	2000	1600
Установочная мощность, кВт	20	43	80	80
Емкость бака для электролита, м <sup>3</sup>	0,3	0,6	1,0	1,0
Давление электролита, МПа	15	18	18	30
Габаритные размеры станка:				
длина	840	1080	1320	1000
ширина	780	1275	1830	1000
высота	1665	1510	1510	2250
Масса станка, кг	550	850	1300	1300

## 43. Электроэрозионные вырезные станки

Размеры, мм

Параметр	4531	4531Ф3	4532Ф3
Наибольшие размеры обрабатываемой заготовки	160 × 120 × 30	120 × 75 × 40	250 × 160 × 80
Размеры вырезаемого контура	85 × 120	100 × 65	200 × 125
Диаметр электрода-проволоки	0,1...0,3	0,02...0,2	0,05...0,3
Производительность по твердому сплаву, мм <sup>3</sup> /мин	8	11	18
Потребляемая мощность, кВт	0,25	2,75	2,9
Габаритные размеры станка:			
длина	750	665	830
ширина	630	850	1200
высота	1400	1545	1570
Масса, кг	430	700	1500

#### 44. Электроэрозионные копировально-прошивочные станки для извлечения сложного инструмента

Размеры, мм

Параметр	4610	4Б611
Диаметр удаляемого инструмента	2...6	6...24
Размеры рабочей поверхности стола	160 × 220	630 × 400
Расстояние от зеркала стола до торца шпинделя:		
наименьшее	105	100
наибольшее	255	500
Установочное перемещение стола:		
поперечное	125	—
продольное	160	—
Рабочий ход инструмента	50	100
Материал электрода-инструмента	Медь, латунь	То же + графит
Угол поворота головки, °	± 15	± 30
Наибольшая скорость обработки, мм/мин	2	15
Рабочая жидкость	Керосин	Эмульсол
Потребляемая мощность, кВт	1,1	5,8
Рабочий ток, А	15	80
Габаритные размеры станка:		
длина	600	734
ширина	570	1290
высота	550	1775
Масса станка, кг	120	400

#### 45. Электроэрозионные копировально-прошивочные станки универсальные

Размеры, мм

Параметр	МА4720У	4Г721М	4Е723	4Е724
Размеры рабочей поверхности стола	200 × 120	360 × 200	630 × 400	1120 × 800
Наибольшая площадь обработки, мм <sup>2</sup>	1000	1500	15 000	30 000
Расстояние от рабочей поверхности стола до торца шпинделя:				
наибольшая	350	280	450	710
наименьшая	50	180	100	210
Рабочий ход шпинделя	150	100	200	200
Наибольший ход стола:				
поперечный	80	—	500	500
продольный	100	—	800	800
Наибольшая производительность, мм <sup>3</sup> /мин	70	250	3000	6000

Окончание табл. 45

Параметр	МА4720У	4Г721М	4Е723	4Е724
Шероховатость обработанной поверхности $R_a$ , мкм				
по стали 45	0,63...1,25	1,25	—	—
по твердому сплаву	0,32...0,63	0,63	—	—
Наибольшая высота уровня рабочей жидкости над плоскостью стола	120	180	400	655
Наибольшая потребляемая мощность, кВт	3,25	4,5	20	39,4
Габаритные размеры станка:				
длина	700	825	1580	2160
ширина	750	950	1260	1690
высота	1250	1630	2470	3030
Масса станка, кг	150	490	2450	4290

## ЗУБО- И РЕЗЬБООБРАБАТЫВАЮЩИЕ СТАНКИ

## 46. Зубодолбежные полуавтоматы

Размеры, мм

Парамстр	5111	5122В	5140	5М150	5М161
Наибольший диаметр устанавливаемой заготовки	80	200	500	800	1250
Наибольшая ширина нарезаемого венца зубчатого колеса	20	50	100	160	160
Наибольший модуль нарезаемого зубчатого колеса	1	4,5	8	12	12
Число двойных ходов инструмента в минуту	250...1600	200...850	65...450	33...188	33...212
Круговая подача, мм/дв. ход	0,016...0,4	0,14...0,75	0,14...0,75	0,2... 1,5	0,2... 1,5
Радиальная подача, мм/дв. ход (или мм/мин)	0,1...0,3	0,003... от круговой 0,286	0,02... 0,1	(2,07... 5,4)	(2,07... 5,4)
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	1,1	2,1; 3,0	4,0; 4,5	4,8; 5,7; 7,5	4,8; 5,7; 7,5
Габаритные размеры с выносным оборудованием:					
длина	1635	2610	1900	4200	4200
ширина	1090	1110	1450	1800	1860
высота	1705	2145	2450	3300	3300
Масса, кг	1770	4500	4400	10 800	10 900

## 47. Зубофрезерные полуавтоматы для цилиндрических колес

Размеры, мм

Параметр	5303ПТ	5303П; 5303В	5304В	53А10	53А20
Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки	20	50	80	125	200
Наибольшие размеры нарезаемых колес:					
модуль	1	1	1,5	2,5	6
длина зуба прямозубых колес	50	50	100	140	180
угол наклона зубьев, °	—	—	± 60	± 45	± 60
Наибольший диаметр устанавливаемых червячных фрез	32	40	80	100	125
Наибольшее осевое перемещение фрезы	—	—	50	60	170
Частота вращения шпинделя инструмента, мин <sup>-1</sup>	400...4000	400...4000	200...1600	40...900	75...500
Подача, мм/об, заготовки:					
вертикальная или продольная	0,063...1,0	0,063...1,0	0,1...1,6	0,1...70*	0,45...120*
радиальная	1,5...45*	1,5...45*	0,05...0,8	0,05...35*	0,1...1,6
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	1,1	1,1	1,5	3,8	7,5; 8,5
Габаритные размеры:					
длина	810	810	1215	1370	3150
ширина	750	750	1195	980	1815
высота	1340	1335	1620	1660	2300
Масса, кг	680	680	2100	3150	6800
Параметр	53А30П	5В312	53А50	53А80	5К328А
Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки	320	320	500	800	1250
Наибольшие размеры нарезаемых колес:					
модуль	6	6	8	10	12
длина зуба прямозубых колес	220	180	350	350	560
угол наклона зубьев, °	± 60	± 45	± 60	± 60	± 60
Наибольший диаметр устанавливаемых червячных фрез	160	160	200	200	225
Наибольшее осевое перемещение фрезы	75	75	180	180	240

Окончание табл. 47

Параметр	5303ПТ	5303П; 5303В	5304В	53А10	53А20
Частота вращения шпинделя инструмента, мин <sup>-1</sup>	50...400	100...500	40...405	40...405	32...200
Подача, мм/об, заготовки:					
вертикальная или продольная	0,63...7	2,5...100*	0,75...7,5	0,75...7,5	0,5...5,6
радиальная	0,3...2	—	0,22...2,25	0,22...2,25	0,22...2,6
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	3,2; 4,2	7,5	8,10; 12,5	8; 10; 12,5	10
Габаритные размеры:					
длина	2300	1790	2670	2897	3580
ширина	1500	1000	1810	1810	1790
высота	1950	2450	2250	2250	2590
Масса, кг	6800	5250	9850	10 800	14 000

\* Подача в мм/мин.

Примечание. Полуавтоматы 5303ПТ, 5303П и 5303В горизонтальные, остальные – вертикальные.

## 48. Зубообрабатывающие полуавтоматы для прямозубых конических колес

Размеры, мм

Параметр	5236П	5С268	5С277П	5С286П
Наибольший диаметр обрабатываемого колеса при передаточном отношении пары 10:1	125	320	500	800
Наибольший модуль обрабатываемых колес	1,5	8	12	16
Наибольшая ширина зубчатого венца	20	—	80	125
Число зубьев нарезаемых колес	12...200	8...50	10...150	10...150
Длина образующей делительного конуса нарезаемых колес	7...63	165 (наиб.)	250 (наиб.)	400 (наиб.)
Число двойных ходов резцов в минуту	160...800	—	—	34...167
Частота вращения дисковых фрез (или инструментального шпинделя), мин <sup>-1</sup>	—	10,5...20	20...80	—
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	1,1	10	5,5	7,5
Габаритные размеры:				
длина	1620	2700	3075	3235
ширина	1050	2375	1975	2180
высота	1415	2075	2200	2470
Масса, кг	3000	9000	15 000	15 000

Примечание. Полуавтомат 5С277П зубофрезерный, 5С268 зубопротяжный, остальные полуавтоматы зубоотражные.



## 49. Зуборезные полуавтоматы для конических колес с круговыми зубьями

Размеры, мм

Параметр	5С263	527В	5С280П
Наибольший диаметр обрабатываемого колеса при передаточном отношении пары 10:1	320	500	800
Наибольший модуль обрабатываемых колес	8	12	12
Наибольшая длина образующей начального конуса нарезаемых колес (при угле наклона зуба 30°)	150	265	400
Угол делительного конуса конического колеса	5°...85°	5°42'...84°18'	5°42'...84°18'
Число зубьев нарезаемых колес	5...75	5...150	5...150
Наибольшее радиальное смещение инструментального шпинделя	140	240	340
Диаметр зуборезных головок	60, 80, 100, 125, 160, 200, 250	160, 200, 250, 315, 400	160, 200, 250, 320, 400, 500
Частота вращения зуборезной головки, мин <sup>-1</sup>	—	20...155	20...125
Вертикальная установка бабки заготовки для нарезания гипоидных колес	80	125	125
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	3	4	7,5
Габаритные размеры:			
длина	2607	3140	3235
ширина	1925	1975	2180
высота	1870	2200	2200
Масса, кг	8800	13 500	15 500

Примечание. Угол качания люльки для приведенных моделей станков равен 60°.

## 50. Зубошевннговальные и зубохонннговальные полуавтоматы для цилиндрических колес

Размеры, мм

Параметр	5701	5702В	5Б703	5А913	5А915
Наибольшие размеры обрабатываемого колеса:					
диаметр	125	320	500	320	500
длина зуба	40	100	150	120	150
Модуль обрабатываемых зубчатых колес	0,3...1,5	1,5...6	2...10	8 (наиб.)	12 (наиб.)

Окончание табл. 47

Параметр	5701	5702В	5Б703	5А913	5А915
Частота вращения шпинделя инструмента (или заготовки), мин <sup>-1</sup>	100...630	63...500	50...400	160...1000	160...500
Осевая (продольная) подача инструмента (или заготовки), мм/мин	32...310	18...300	16...200	50...400	40...320
Радиальная подача, мм/ход стола	0,01; 0,02; 0,03	0,02...0,06	0,025	—	—
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	0,9	3	3,2	3	3,2
Габаритные размеры:					
длина	1450	1820	2260	1650	2260
ширина	870	1500	1265	1460	1450
высота	1695	2120	1930	1620	1930
Масса, кг	1560	5300	4000	3400	4300

Примечания: Полуавтоматы 5А913 и 5А915 зубохонинговальные, соответственно горизонтальный и вертикальный, остальные полуавтоматы зубошевинговальные.

2. Полуавтомат 5702В горизонтальный, остальные зубошевинговальные полуавтоматы – вертикальные.

### 51. Зубопритирочные и контрольно-обкатные станки для конических колес

Размеры, мм

Параметр	5П722	5725Е	5Б720	5В722	5Б726
Наибольший диаметр обрабатываемого (или контролируемого) конического колеса	320	500	125	200	800
Модуль обрабатываемого (или контролируемого) колеса	2...6	2,5...10	0,3...2,5	1,5...8	5...16
Частота вращения ведущего шпинделя, мин <sup>-1</sup>	1450	1450	600...1000	1200; 800	220; 450; 625; 1250
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	5,5	5,5	0,9	1,8; 2,1	6,0; 9,0
Габаритные размеры:					
длина	1540	1540	1000	1540	2990
ширина	1480	1480	850	1100	2640
высота	1810	1810	1380	1550	1905
Масса, кг	4600	4800	990	1700	6550

Примечания: 1. Станки 5П722 и 5725Е зубопритирочные, остальные – контрольно-обкатные универсальные.

2. Для станков 5П722 и 5725Е число двойных осциллирующих ходов за один цикл 2...30.

52. Зубошлифовальные станки и полуавтоматы для цилиндрических колес  
Размеры, мм

Параметр	5B830	5B832	5B833	5B835	5A841	5843	5851	5891C	5A893C
Диаметр обрабатываемого зубчатого колеса	5...125	20...200	40...320	50...500	30...320	80...800	35...320	10...125	40...320
Модуль обрабатываемого зубчатого колеса	0,2...1,5	0,3...3	0,5...4	1,5...6	1,5...8	2...12	2...10	1...6	2...12
Наибольшая длина шлифового зуба прямозубого колеса	80	100	150	200	150	220	220	28	56
Наибольший угол наклона шлифового зубчатого колеса, °	±45	±45	±45	±30	±45	±45	±45	±30	±35
Число зубьев обрабатываемого зубчатого колеса	12...160	12...200	12...200	16...250	10...200	14...250	10...120	7...100	10...180
Шлифовальный круг		Червячный			Конический		Тарельчатый (два)	Конический	
Наибольшие размеры шлифовального круга (диаметр × ширина)	400 × 100	400 × 63	400 × 80	400 × 100	350 × 32	400 × 32	Ø 225	250 × 25	500 × 32
Частота вращения шлифовального круга, мин <sup>-1</sup>	1500	1500	1500	1500	1920	1670	1900; 2660	2000; 2500	1150
Вертикальная подача суппорта заготовки (подача обката), мм/мин	3...160	3,78...165	3,78...165	2...165	(6...800)	(6...800)	—	—	—
Радиальная подача шлифовальной бабки за один ход суппорта	0,02...0,08	0,02...0,08	0,02...0,08	0,02...0,08	0,01...2,49	0,01...2,49	—	0,002...0,01	0,002...0,01
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	3	3	4	5,5	1,5	1,5	0,75 × 2	0,75	1,1
Габаритные размеры:									
длина	1950	2110	2400	2830	2850	3280	3170	1590	2545
ширина	2000	2450	2500	2210	2315	2780	1820	1500	1770
высота	1810	1985	2070	2345	2085	2525	2020	1820	2190
Масса, кг	4480	7180	7000	8500	8000	11200	5600	2800	3500

Примечание. Станки 5891C и 5A893C особо точные, предназначены для окончательной обработки эвольвентного профиля долбяков, шевсеров и измерительных колес.

## 53. Зубошлифовальные станки для конических колес

Размеры, мм

Параметр	58П70В	58К70В	5А872	5А872В
Наибольший диаметр обрабатываемого зубчатого колеса	320	320	800	800
Наибольший модуль обрабатываемого зубчатого колеса	8	6	12	16
Наибольшая ширина зубчатого венца	32	50	125	125
Число зубьев обрабатываемого зубчатого колеса	15...100	10...100	4...100	5...150
Угол спирали, °	6...90	6...90	0...60	0...60
Угол зацепления, °	20	20	20 ± 5	20 ± 5
Диаметр шлифовального круга	275	100...250	160; 250; 315; 450	160; 200; 400; 500
Скорость шлифования, м/с	10...30	10...30	(955...4150)*	10...30
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	3	3	4	4
Габаритные размеры:				
длина	3515	3515	2700	3460
ширина	1970	1970	2184	2600
высота	1715	1715	2015	2115
Масса, кг	8500	8500	12500	13300

\* Частота вращения шлифовального круга, мин<sup>-1</sup>.

Примечание. Станок 58П70В для обработки прямозубых конических колес, остальные полуавтоматы для обработки конических колес с круговыми зубьями.

## 54. Резьбо- и червячно-шлифовальные станки

Размеры, мм

Параметр	5К822В; 5П822	5К821В; 5П821	5897	5К823В	5К881	5887; 5887В
Наибольшие размеры устанавливаемой заготовки:						
диаметр	<u>200</u> 160	<u>125</u> 120	10...33	<u>320</u> 280	125	320
длина	500	360	80...280	1000	360	1000
Диаметр шлифуемых резьб кругом:						
одноиточным	<u>3...150</u> 30...125	<u>2...95</u> 30...80	—	<u>30...320</u> 70...220	—	—
многочиточным	10...120	10...65	—	30...320	—	—

Продолжение табл. 54

Параметр	5K822B; 5П822	5K821B; 5П821	5897	5K823B	5K881	5887; 5887B
Шаг шлифуемых резьб:						
однониточным кругом:						
метрической	<u>0,25...24</u> 1...6	<u>0,25...12</u> 0,5...6	0,5...3,5	<u>1...75</u> 1...6	—	—
дюймовой, число ниток на 1"	28...3	28...4,5	—	24...3	—	—
модульной	0,3π...14π	0,3π...4π	—	0,5π...25π	—	—
многониточным кругом	<u>1...4</u> 1...3	<u>1...4</u> 1...3	—	<u>1...4</u> 1...6	—	—
Наибольший диаметр шли- фуемых червяков	—	—	—	—	125	50...320
Модуль шлифуемых червяков	—	—	—	—	1...6	1...16
Число заходов шлифуемых червяков	—	—	—	—	1...6	1...8; 12
Наибольший ход винтовой линии шлифуемых червяков	—	—	—	—	113	200
Наибольшая высота профиля шлифуемой резьбы (или червяка)	18	12	—	55	13,2	35
Наибольший угол подъема винтовой линии шлифуемой резьбы (или червяка), °	<u>± 30</u> ± 8	<u>± 30</u> ± 6	± 5	<u>± 45</u> ± 10	± 35	± 45
Наибольший диаметр шли- фовального круга	<u>400</u> 25...100	<u>400</u> 25...63	400	<u>500</u> 50...175	400	500
Частота вращения шлифо- вального круга, мин <sup>-1</sup>	1657; 2340; 2655	1330... 2840	1700... 2950	1335; 1600; 3720; 6370; 11 450	1657; 2340	1335; 1600
Частота вращения шпинделя заготовки, мин <sup>-1</sup> :						
рабочая	0,3...55	0,3...55	25...200	0,125...37	0,3...45	0,14...57
ускоренная	28...100	28...100	220	9,25...37	≤ 82	≤ 57
Мощность электродвигате- ля привода главного движе- ния, кВт	3	3	6,3	5,5	3	5,5
Габаритные размеры (с при- ставным оборудованием):						
длина	3500	3500	4195	4920	3690	5900
ширина	3310	3310	3060	2850	3900	3500
высота	1875	1875	1860	2000	1710	2000

Окончание табл. 54

Параметр	5K822B; 5П822	5K821B; 5П821	5897	5K823B	5K881	5887; 5887B
Масса (с приставным оборудованием), кг	5565	5565	5612	8800	5076	8500

Примечания: 1. Данные, указанные в числителе, относятся к шлифованию наружных резб, в знаменателе – к шлифованию внутренних резб; полуавтоматы 5П822 и 5П821 повышенной точности предназначены для шлифования только наружной цилиндрической резьбы без затылования и конусного шлифования.

2. Полуавтомат 5897 для шлифования резьбы на метчиках.

3. Полуавтомат 5K881 и станки 5887 и 5887B червячно-шлифовальные: достигаемая степень точности шлифования червяков: мод. 5K881 – степень точности 5 для однозаходных червяков и степень точности 6 для многозаходных; мод. 5887 и 5887B – степень точности 4 для однозаходных червяков и степень точности 5 для многозаходных червяков.

### 55. Резьбонарезные и резьбофрезерные станки и полуавтоматы

Размеры, мм

Параметр	<u>5991</u> 5991П	<u>5993</u> 5993П	<u>5994</u> 5994П	2054М
Диаметр нарезаемой резьбы	M4...M16	M12...M42	M24...M76	(M6)
Шаг нарезаемой резьбы	0,75...2	1,75...4	3...6	0,4...1,25
Наибольшая длина нарезаемой резьбы	$\frac{-}{125}$	$\frac{-}{280}$	$\frac{-}{400}$	-
Перемещение каретки:				
продольное	$\frac{280}{200}$	$\frac{400}{-}$	560	-
поперечное	-	-	-	-
Частота вращения шпинделя инструмента, мин <sup>-1</sup>	90...500	45...250	16...90	224...2240
Частота вращения шпинделя заготовки, мин <sup>-1</sup>	-	-	-	-
Скорость рабочего перемещения каретки, мм/мин	300...450	300...450	250...450	-
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	1,1	3	4	0,6
Габаритные размеры:				
длина	$\frac{1865}{2200}$	$\frac{2125}{2705}$	$\frac{2375}{2965}$	516
ширина	$\frac{1150}{1425}$	$\frac{1215}{1525}$	$\frac{1270}{1625}$	715
высота	$\frac{1380}{1260}$	$\frac{1380}{1125}$	$\frac{1380}{1345}$	1550
Масса, кг	$\frac{980}{1060}$	$\frac{1350}{1350}$	$\frac{1470}{1900}$	310

Окончание табл. 55

Параметр	2E056	5B63Г	5B64	5B65
Диаметр нарезаемой резьбы	(M18)	(M80)	(M125)	(M200)
Шаг нарезаемой резьбы	0,5...3	(5)	(6)	(6)
Наибольшая длина нарезаемой резьбы	—	50	75	75
Перемещение каретки:				
продольное	—	810	430	600
поперечное:				
автоматическое	—	2...5	2...6	2...6
ручное	—	122	145	210
Частота вращения шпинделя инструмента, мин <sup>-1</sup>	112...1120	80...630	63...1000	50...800
Частота вращения шпинделя заготовки, мин <sup>-1</sup>	—	0,315...10	0,16...8	0,1...5
Скорость рабочего перемещения каретки, мм/мин	—	—	—	—
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	1,1	3	7,5	11
Габаритные размеры:				
длина	1000	2295	2150	2385
ширина	500	1085	1390	1420
высота	1780	1675	1750	1725
Масса, кг	711	2800	3900	4800

Примечания: 1. Станки 5B63Г, 5B64 и 5B65 — резьбофрезерные полуавтоматы, остальные станки резьбонарезные.

2. Станки 2054М и 2E056 вертикальные резьбонарезные, остальные — горизонтальные резьбонарезные полуавтоматы.

3. В скобках приведены наибольшие диаметр и шаг нарезаемой резьбы.

### 56. Гайконарезные автоматы

Размеры, мм

Параметр	2061	2062	2063	2064
Диаметр нарезаемой резьбы	M3...M5	M6...M10	M12...M20	M24...M30
Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	400...2240	280...900	100...560	106...335
Производительность, шт/ч	4500...6500	1980...4000	950...1900	480...880
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	0,6	1,1	3	5,5
Габаритные размеры:				
длина	790	745	980	1210
ширина	480	470	615	730
высота	1300	1155	1410	1500
Масса, кг	295	370	640	985

Примечание. Все гайконарезные автоматы двухшпиндельные, предназначены для нарезания правой метрической и дюймовой резьб в шестигранных гайках.

## ФРЕЗЕРНЫЕ СТАНКИ

## 57. Вертикально-фрезерные консольные станки

Размеры, мм

Параметр	6Т104	6Р10	6Р11	6Р11Ф3-1	6Р12	6Р13	6Р13РФ3
Размеры рабочей поверхности стола (ширина × длина)	160 × 630	—	250 × 1000	250 × 1000	320 × 1250	400 × 1600	400 × 1600
Наибольшее перемещение стола:							
продольное	400	500	630	630	800	1000	1000
поперечное	160	160	200	300	280	300	400
вертикальное	320	300	350	350	420	420	380
Перемещение тильзы со шпинделем	—	60	60	—	70	80	—
Наибольший угол поворота шпиндельной головки, °	±45	±45	±45	—	±45	±45	—
Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	63...2800	50...2240	50...1600	80...2500	31,5...1600	31,5...1600	40...2000
Подача стола, мм/мин:							
продольная и поперечная	11,2...500	25...1120	35...1020	0,1...4800	25...1250	25...1250	10...1200
вертикальная	—	12,5...560	14...390	0,1...4800	8,3...416,6	8,3...416,6	10...1200
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	2,2	3	5,5	5,5	7,5	11	7,5
Габаритные размеры:							
длина	1250	1445	1480	4000*	2305	2560	3425
ширина	1205	1875	1990	2000	1950	2260	3200
высота	1630	1750	2360	2220	2020	2120	2520
Масса (без выносного оборудования), кг	830	1300	2360	2760	3120	4200	6750

\* С приставным оборудованием.

Примечание. На станке 6Р13РФ3 емкость револьверной головки — шесть инструментов.



58. Вертикально-фрезерные станки с крестовым столом  
Размеры, мм

Параметр	6520Ф3	6540	6550	6550Ф3	6560	654Ф3	6A56	6A59
Размеры рабочей поверхности стола	250 × 630	400 × 1000	500 × 1250	500 × 1000	630 × 1600	630 × 1600	800 × 2000	1000 × 2500
Наибольшие перемещения стола:								
продольное	500	800	1000	800	1250	1250	1600	2000
поперечное	250	400	500	500	630	630	800	1000
шпиндельной бабки	350	430	530	530	625	625	800	900
гильзы шпинделя	—	120	120	—	125	—	150	150
Расстояние от торца шпинделя до поверхности стола	100...450	100...530	100...630	100...630	125...750	100...530	100...900	100...1000
Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	31,5...1600	31,5...1600	31,5...1600	20...1600	25...1250	25...1250	25...1250	25...1250
Подача (бесступенчатое регулирование), мм/мин:								
стола	5...1500	10...2000	10...2000	4,8...1200 (ступенчатая)	10...2200	0,1...4800	2,5...2200	2,5...2200
шпиндельной бабки	5...1500	4...800	4...800	4,8...1200 (ступенчатая)	3...730	0,1...4800	0,6...550	0,6...550
Мощность электродвигателя при вода главного движения, кВт	4	7,5	10	8	15	15	22	22
Габаритные размеры:								
длина	3050	2640	2720	5000	4190	3278	5300	6500
ширина	2150	2655	3205	3550	3400	4526	3900	4550
высота	2185	2795	2930	3180	3120	3571	4000	4700
Масса, кг	3700	6500	7500	10490	11500	11800	19100	23600

Примечание. Угол поворота шпиндельной бабки станка мод. 6560 составляет ±30°.

## 59. Фрезерные широкоуниверсальные (инструментальные) станки

Размеры, мм

Параметр	6712В; 6712П	6Б75В; 6Б75ВФ1	676П	67К25РФ3-01
Размеры рабочей поверхности осевого вертикального стола	125 × 320	200 × 500	250 × 630	250 × 630
Наибольшие перемещения:				
вертикального стола:				
продольное	200	320	400	500
вертикальное	250	320	380	450
шпиндельной бабки	125	200	250	—
гильзы вертикальной головки	40	60	60	60
Наибольший угол поворота вертикальной головки, °	±90	±90	±90	±90
Частота вращения шпинделей, мин <sup>-1</sup> :				
горизонтального	63...3150	40...2240	50...1630	63...3150
вертикального	63...3150	40...2240	63...2040	63...3150
Продольная, поперечная и вертикальная подачи с бесступенчатым регулированием, мм/мин	6,3...250	10...600	13...395 (ступенчатое)	2...3000
Размеры рабочей поверхности углового универсального стола	125 × 400	200 × 500	200 × 630	320 × 800
Диаметр рабочей поверхности круглого стола	160	250	250	—
Высота центров делительной головки	70	107	107	—
Частота, вращения быстроходной головки, мин <sup>-1</sup>	157,5...7875	104...5000	156...5300	—
Наибольшее перемещение резца подрезной головки	30	30	—	—
Подача резца подрезной головки, мм/об	0,1	0,1	—	—
Наибольший ход долбежной головки	40	80	80	—
Число двойных ходов в минуту долбежной головки	50...100	40...100	50...100	—
Наибольшая длина нарезаемой спирали спирально-фрезерным приспособлением	150	320	—	—
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	0,75	1,5	2,2	3
Габаритные размеры:				
длина	2260	3700	1285	1685
ширина	2000	1975	1215	1655
высота	1320	1695	1780	1865
Масса, кг	560	1452	910	1700

### 60. Горизонтально-фрезерные универсальные и широкоуниверсальные консольные станки

Размеры, мм

Параметр	6P80Ш	6P81	6P81Ш	6P82Г	6P82Ш	6P83	6P83Ш
Размеры рабочей поверхности стола	200 × × 800	250 × × 1000	250 × × 1000	320 × × 1250	320 × × 1250	400 × × 1600	400 × × 1600
Наибольшее перемещение стола:							
продольное	500	630	630	800	800	1000	1000
поперечное	160	200	200	250	250	320	320
вертикальное	300	320	350	420	420	350	420
Наибольшее перемещение гильзы вертикального шпинделя	60	—	80	—	80	—	80
Наибольший угол поворота стола, °	—	±45	—	—	—	±45	—
Угол поворота вертикальной фрезерной головки, °, в плоскости, параллельной:							
продольному ходу стола	±90	—	360	—	360	—	360
поперечному ходу стола:							
от станины	45	—	90	—	90	—	90
к станине	30	—	45	—	45	—	45
Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup> :							
горизонтального	50... 2240	50... 1600	50... 1600	31,5... 1600	31,5... 1600	31,5... 1600	31,5... 1600
вертикального	56...2500	—	45...2000	—	50...1600	—	50...1600
Подача стола, мм/мин:							
продольная	25...1120	35...1020	35...1020	25...1250	25...1250	25...1250	25...1250
поперечная	25...1120	28...790	28...790	25...1250	25...1250	25...1250	25...1250
вертикальная	12,5... 560	14... 390	14... 390	8,3... 416,6	8,3... 416,6	8,3... 416,6	8,3... 416,6

Окончание табл. 60

Параметр	6P80Ш	6P81	6P81Ш	6P82Г	6P82Ш	6P83	6P83Ш
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	3	5,5	5,5	7,5	7,5	11	11
Габаритные размеры:							
длина	1525	1480	1480	2305	2470	2560	2680
ширина	1875	1990	2045	1950	1950	2260	2260
высота	1765	1630	1890	1680	1950	1770	2040
Масса, кг	1340	2280	2530	2900	3300	3800	4050

Примечание. Станки 6P80Ш, 6P81Ш, 6P82Ш и 6P83Ш широкоуниверсальные класса точности П.

## 61. Горизонтально-фрезерные станки с ЧПУ

Размеры, мм

Параметр	6902ПМФ2	6904ВМФ2	6906ВМФ2
Размеры рабочей поверхности стола	320 × 50	500 × 400	800 × 630
Наибольшие перемещения:			
стола:			
продольное	320	500	630
поперечное	320	500	630
шпиндельной головки (бабки) вертикальное	320	500	630
Расстояние от оси шпинделя до рабочей поверхности стола	15 (наим.)	65...555	95...725
Вместимость инструментального магазина, шт	30	30	30
Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	50...2500	32...2000	31,5...1600
Рабочие подачи (продольная, поперечная, вертикальная), мм/мин	2,5...400	2,5...2500	2,5...2500
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	3	4,5	8
Габаритные размеры:			
длина	2780	2790	3100
ширина	2050	2060	2165
высота	1860	2000	2595
Масса, кг	2520	5082	7330

Примечания: 1. На всех станках можно выполнять фрезерование, сверление, зенкерование, развертывание, растачивание отверстий, нарезание резьбы метчиками.

2. Все станки с крестовым поворотным столом.

62. Конировально-фрезерные станки  
Размеры, мм

Параметр	6Л463	641	6520К	6530К	6Р12К-1	6Р13К-1	6Б443Г, 6Б443ГФ3
Размеры рабочей поверхности стола: заготовки	200 × 320	250 × 400	250 × 630	320 × 800	320 × 1250	400 × 1600	630 × 1250
копира	250 × 400	400 × 500	250 × 320	250 × 320	250 × 500	300 × 700	—
Наибольшее перемещение: стола заготовки:							
продольное (или горизонтальное)	200	150	500	500	800	800	1000
поперечное (или осевое)	125	350	250	320	250	320	320
вертикальное	250	300	—	—	420	430	560
Наибольшее перемещение: осевого шпинделя	—	50	—	—	70	85	175
вертикальное шпиндельной бабки	—	—	275	350	—	—	—
Масштаб копирования	1:1...1:50	1:1,5...1:10	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1
Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	1260... 15 900	800... 10 000	31,5... 1600	31,5... 1600	40...2000 18...1000	40...2000 20...1000	31,5...2500 6,3...1000
Продольная (или горизонтальная) и поперечная (или осевая) подача стола, мм/мин	—	—	30...550 (по контуру)	30...700 (по контуру)	15...750	15...750	6,3...1000
Вертикальная подача стола (или шпиндельной бабки), мм/мин	—	—	20...200	20...200	7,5	7,5	5,5
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	0,25	0,6; 0,85	4	4	4	4	4
Габаритные размеры станка:							
длина	1100	1720	2335	2000	2500	3460	4750
ширина	1000	1520	2440	2500	1950	3000	4550
высота	1260	1740	2085	2185	2035	2120	2630
Масса, кг	250	1250	3400	3700	3850	4850	9100

Примечания: 1. Станки 6Л463, 641 — с пультграфом.

2. Станки 6520К и 6530К с крестовым столом, станки 6Р12К-1 и 6Р13К-1 консольные.

3. Станки 6Б443Г и 6Б443ГФ3 горизонтальные.

63. Продольно-фрезерные одностоенные и двухстоенные станки

Размеры, мм

Параметр	6305Ф4	6У312*	6У316*	6605	6606	6Г608	6М610Ф3	6Г610
Размеры рабочей поверхности стола	500 × 1250	1250 × 4000	1600 × 5000	500 × 1600	630 × 2000	630 × 2500	1000 × 1600	1000 × 3150
Расстояние до поверхности стола: от оси горизонтального шпинделя	0...500	0...1050	0...1050	25...600	25...560	25...700	—	25...900
от торца вертикального шпинделя	—	260...1330	260...1330	—	25...760	25...930	90...990	25...1130
Расстояние между торцами горизонтальных шпинделей	—	—	—	340...740	470...870	550...1050	—	750...1250
Наибольшие перемещения: стола продольное	1250	4500	5500	1600	2000	2500	1900	3200
гильз шпинделей (или бабки)	365	315	315	200	200	250	1900	250
Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	16...1600	25...1250	25...1250	16...1600	16...1600	16...1250	10...1600	16...1250
Подача, мм/мин: стола	10...2500	5...2000	5...2000	10...3000	10...3000	10...2500	3...3000	10...2500
шпиндельной бабки	10...2500	10...2000	10...2000	10...1000	10...1000	10...1000	3...3000	10...1000
Подача гильз шпинделей, мм/мин	10...2500	5...1000	5...1000	—	—	—	—	—
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт (в зависимости от числа шпиндельных бабок)	7,8	22 × 2	22 × 2	11 × 2	11 × 3	15 × 3	30	18,5 × 4
Габаритные размеры:								
длина	5300	11 070	13 170	5400	6200	7435	8650	8700
ширина	4050	4360	4535	3550	3750	4100	8750	5000
высота	3175	5500	5500	2300	3600	3800	5400	4050
Масса, кг	14 000	52 700	57 700	13 600	21 500	27 500	35 800	35 000

\* Наибольший угол поворота вертикальных фрезерных бабок ± 45°.

Примечание. Станки мод. 6305Ф4, 6У312 и 6У316 одностоенные, остальные — двухстоенные.

**СТРОГАЛЬНЫЕ И ДОЛБЕЖНЫЕ СТАНКИ**  
**64. Одноостроечные и двусторонние продольно-строгальные и строгально-фрезерные станки**  
 Размеры, мм

Параметр	7110	7112	7116	7210	7212Г	7216Г
Наибольшие размеры обрабатываемой заготовки:						
при строгании	900 × 1000	1120 × 1250	1400 × 1600	900 × 1000	1120 × 1250	1400 × 1600
при фрезеровании	—	—	—	—	1070 × 1150	1350 × 1600
Размеры рабочей поверхности стола	900 × 3000	1120 × 4000	1400 × 6000	900 × 3000	1120 × 4000	1400 × 6000
Наибольшее расстояние между поверхностью стола и поперечной стойкой	1000	1220	1500	1000	1220	1420
Расстояние между стойками	—	—	—	1100	1350	1800
Наибольшее перемещение:						
стола	3200	4200	6200	3200	4200	6200
ползунов суппортов	300	300	300	300	300	300
Скорость хода стола (бесступенчатое регулирование), м/мин:						
рабочего	4...90	4...80	4...80	4...90	4...80	4...80
обратного	12...90	12...80	12...80	12...90	4...80	4...80
Поддача суппортов поперечины, мм/дв. ход:						
горизонтальная	0,5...25	0,5...25	0,5...25	0,5...25	0,5...25	0,5...25
вертикальная	0,25...12,5	0,25...12,5	0,25...12,5	0,25...12,5	0,25...12,5	0,25...12,5
Поддача боковых суппортов (горизонтальная и вертикальная), мм/дв. ход	0,25...12,5	0,25...12,5	0,25...12,5	0,25...12,5	0,25...12,5	0,25...12,5
Мощность электродвигателей привода стола, кВт, при строгании	75	100	100	75	100; 7,2*	100; 7,2*
Габаритные размеры:						
длина	7950	9950	14 000	7950	9950	14 000
ширина	3700	4200	4500	4170	5000	5450
высота	3550	4100	4750	3450	4050	4350
Масса, кг	27 500	35 000	50 000	27 500	38 000	51 000

\* При фрезеровании.

Примечания: 1. Станки 7110, 7112, 7116 односторонние, остальные — двусторонние.

2. Станки 7212Г и 7216Г строгально-фрезерные (комбинированные), остальные — продольно-строгальные.

3. У всех станков угол поворота суппортов ± 60°. У станков 7212Г и 7216Г наибольшее перемещение гильзы фрезерной головки 200 мм, угол поворота фрезерных головок ± 30°, частота вращения шпинделя при фрезеровании 25...800 мин<sup>-1</sup>, подача фрезерных кареток бесступенчатая 20...1250 мм/мин, мощность электродвигателя фрезерной головки 13 кВт.

65. Поперечно-строгальные станки

Размеры, мм

Параметр	7А311	7Е35	7Д36	7307	7310Д
Длина хода ползуна	10...200	500 (ианб.)	150...710	20...720	150...1000
Наибольшее расстояние от опорной поверхности реза до станины (вылет)	280	670	820	880	1120
Между рабочей поверхностью стола и ползуном	200	400	400	480	500
Размер рабочей поверхности стола	200 × 200	360 × 500	450 × 710	450 × 710	560 × 1000
Наибольшее перемещение стола:					
горизонтальное	250	530	700	710	800
вертикальное	150	310	320	390	420
Наибольшее перемещение суппорта (вертикальное)	70	170	200	170	200
Наибольшее сечение реза (ширина × высота)	20 × 12	32 × 20	40 × 25	40 × 25	40 × 25
Скорость ползуна, дв. ход/мин	53; 71; 106; 212	13,2...150	—	10,6...118	—
Подача, мм/дв. ход:					
стола (горизонтальная)	0,1...1,2	0,2...4,0	0,2...5	0,2...4	0,2...5
суппорта	0,05...0,6 (стол вертикальный)	0,16...1 (по заказу)	0,15...1,05	0,16...1 (по заказу)	0,15...1,05
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	0,8...1,5	5,5	7,5	5,5	11
Габаритные размеры:					
длина	1380	2350	2850	2980	3700
ширина	800	1230	1680	1400	1835
высота	1395	1550	1840	1665	1920
Масса, кг	650	2000	3400	2800	4400

Примечания: 1. Станки 7А311 и 7Е35 с механическим приводом, остальные с гидравлическим приводом.

2. Наибольший угол поворота суппорта для всех станков, кроме 7А311, 7Е35, 7307, скорость ползуна 3...48 м/мин.



## 66. Долбежные станки

Размеры, мм

Параметр	7А412	7Д430	7Д450	7410	7414
Длина хода долбяка	10...100	120...320	120...500	1200 (наиб.)	1600 (наиб.)
Расстояние от наружной плоскости резцедержателя до стойки (вылет)	320	615	710	1150	1400
Расстояние от плоскости стола до нижнего конца направляющих долбяка	200	500	700	1200	800...1600
Диаметр рабочей поверхности стола	360	—	—	1250	1600
Наибольшее перемещение стола:					
продольное	350	650	800	1400	1800
поперечное	280	510	650	1000	1250
Угол наклона долбежной головки, °	±5	±10	±10	±10	±10
Скорость долбяка на рабочем ходу, м/мин	—	3...38	3...38	2...30	2...30
Подача стола за один двойной ход долбяка:					
продольная	0,1...1	0,2...2,5	0,2...2,5	0,2...10	0,2...10
поперечная	0,1...1	0,1...2,5	0,1...2,5	0,2...10	0,2...10
круговая	0,067...0,67	0,1...1,4	0,1...1,4	0,2...10	0,2...10
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	0,8...1,5	10	10	55	50
Габаритные размеры:					
длина	1950	3030	3540	6070	7000
ширина	980	2175	2890	4335	5100
высота	1825	3010	3465	5300	6500
Масса, кг	1200	5700	8200	30 000	34 500

Примечания: 1. Станки 7Д430 и 7Д450 с гидравлическим приводом, остальные — с электроприводом. При этом станки 7410 и 7414 имеют привод от регулируемых электродвигателей постоянного тока.

2. Для всех станков угол поворота стола 360°.

## ПРОТЯЖНЫЕ И ОТРЕЗНЫЕ СТАНКИ

## 67. Горизонтальные протяжные полуавтоматы для внутреннего протягивания

Размеры, мм

Параметр	7Б55	7Б56	7Б56САУ	7Б57	7Б58
Номинальная тяговая сила, кН	100	200	200	400	800
Наибольшая длина хода салазок	1250	1600	1600	2000	2000
Размер рабочей поверхности опорной плиты	450 × 450	450 × 450	450 × 450	560 × 560	560 × 560
Диаметр отверстия:					
в опорной плите под планшайбу	160	200	200	250	320
в планшайбе	125	160	130	200	250
Скорость рабочего хода протяжки, м/мин	1,5...11,5	1,5...13	1,5...11,5	1,0...6,15	0,5...3,6
Рекомендуемая скорость обратного хода протяжки, м/мин	20...25	20...25	20...25	20...25	10
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	18,5	30	30	37	55
Габаритные размеры:					
длина	6340	7200	7200	9400	10 100
ширина	2090	2135	2020	2500	2600
высота	1910	1910	1700	1910	1700
Масса, кг	5200	7450	8500	13 500	22 000

## 68. Вертикальные протяжные полуавтоматы для внутреннего и наружного протягивания

Размеры, мм

Параметр	7Б64	7Б65	7Б66	7Б67	7Б68	7Б74	7Б75	7Б76	7Б77	7Б75Д	7Б76Д
Номинальная тяговая сила, кН	50	100	200	400	800	50	100	200	400	100	200
Рабочая ширина:											
стола	320	450	450	710	710	320	450	450	710	450	450
салазок	—	—	—	—	—	320	400	500	630	400	500
Наибольшая длина хода салазок	1000	1250	1250	1600	1600	1000	1250	1250	1600	1250	1600
Скорость рабочего хода протяжки, м/мин	1,5...11,5	1,5...11,5	1,5...13	1,5...7,9	1,0...8	1,5...11,5	1,5...11,4	1,5...13	1,0...7,9	1,5...11	1,5...13
Рекомендуемая скорость обратного хода протяжки, м/мин	20	20	20	14	10	20	20	20	16	13,7	13,7
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	11	22	30	57	80	11	22	30	57	22	30
Габаритные размеры (без рабочей площадки):											
длина	2875	3292	3866	4000	4550	3152	3600	4310	4650	3140	3550
ширина	1350	1333	1392	2060	2760	1290	1262	1392	2070	2525	2570
высота	3640	4540	4555	5500	5870	2620	3370	3370	4350	3360	4070
Масса, кг	5050	8080	11440	18500	22200	4750	8000	10785	21000	14500	18600

П р и м е ч а н и я. 1. Полуавтоматы 7Б64, 7Б65, 7Б66, 7Б67 для внутреннего протягивания, остальные — для наружного протягивания.  
2. Полуавтоматы 7Б75Д и 7Б76Д — двойные с двумя салазками и двумя подводными столами, работающими поочередно.

## 69. Абразивно-отрезные и круглопильные станки и автоматы

Размеры, мм

Параметр	8В220	8А230	8А240	8252	8Г642	8Г662САУ	8Б672
Размеры абразивного круга (или пильного диска):							
диаметр	200; 250	300	400	500	510	710	1010
высота	1...4	2...3	3...4	4...5	—	—	—
Наибольшие размеры разрезаемого материала:							
круглого прутка	25	35	60	80	160	240	350
квадрата (сторона)	25	—	—	—	140	—	300
трубы	50	60	90	120	—	—	—
уголка (ширина полки)	40	63	90	100	—	—	—
№ швеллера (№ профиля)	6,5	8	10	14	20	—	—
Длина отрезаемой заготовки по упору	30...250	30...500	30...500	30...1000	20...1500	20...1500	25...1050
Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	3560... 9130	3050 и 5100	2300 и 3820	1860 и 3080	3,78...21	27	2,2...20,3
Подача абразивного круга (или бабки пильного диска), мм/мин	Вручную	60... 1460	60... 1400	60... 1400	8... 500	8... 500	12... 500
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	4	7,5	10	30	5,5	7,5	11
Габаритные размеры:							
длина	935	1370	1370	7800	3545	2310	3140
ширина	500	1160	1160	2680	2270	2600	2650
высота	630	1980	2090	2010	1680	1750	2155
Масса, кг	180	1200	1300	3400	4180	4150	7900

Примечание. Станки 8Г642, 8Г662САУ, 8Б672 — круглопильные автоматы; остальные станки — абразивно-отрезные; станок 8252 — абразивно-отрезной автомат.

## 70. Ножовочные и ленточно-отрезные станки

Размеры, мм

Параметр	8Б72	8544	8Б545	4840
Наибольший размер разрезаемого материала:				
круглого	250	355	500	250
квадратного	250 × 250	355 × 355	500 × 500	250 × 250
Наибольшая длина заготовки	350	3000	3000	1000/6000*
Ширина пропила	3,8	1,9	2,2	—
Скорость резания, м/мин	—	10...100	10...90	—
Рабочая подача, мм/мин	—	5...400	5...400	3,5...70
Наибольший рабочий ток, А	—	—	—	630
Рабочее напряжение, В	—	—	—	18...24
Производительность (при обработке коррозионно-стойкой стали), см <sup>2</sup> /мин	—	—	—	30/25*
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	1,5	2,8	4,1	42,5 (общая мощность)
Габаритные размеры:				
длина	1610	3045	3325	3200
ширина	700	3060	2900	3270/7800*
высота	900	1790	2150	2100
Масса, кг	645	3300	4300	4000

\* Станок 4840 анодно-механический ленточный; данные в числителе для этого станка указаны для рабочей подачи, осуществляемой столом с заготовкой, в знаменателе – рабочей подачи, осуществляемой стойкой с извернутой лентой.

Примечание. Станок 8Б72 ножовочный (длина хода пильной рамы 140 мм, частота движения ножовочного полотна 85 и 120 дв. ход/мин); станки 8544 и 8Б545 ленточно-отрезные.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вайс С.Д., Черпаков Б.И. Рынок металлорежущих станков, предлагаемых предприятиями-изготовителями России и Беларуси // Справочник. Инженерный журнал. 2002. № 6. Приложение.

2. Каталог токарных станков / ОАО ЭНИМС, 2001. 214 с.

3. Каталог сверлильно-расточных станков / ОАО ЭНИМС, 2001. 150 с.

4. Каталог фрезерных станков / ОАО ЭНИМС, 2001. 152 с.

5. Каталог шлифовальных и балансировочных станков / ОАО ЭНИМС, 2001. 158 с.

6. Каталог электрофизических и электрохимических станков / ОАО ЭНИМС, 2001. 48 с.

7. Каталог зубообрабатывающих, отрезных и разных станков / ОАО ЭНИМС, 2001. 87 с.

8. Каталог строгальных, долбежных, протяжных станков / ОАО ЭНИМС, 2001. 38 с.

9. **Машиностроение:** Энциклопедия / Ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др.: Т. III-3: Технология изготовления деталей машин / А.М. Дальский, А.Г. Суслов, Ю.Ф. Назаров и др.; Под общ. ред. А.Г. Сулова. М.: Машиностроение, 2000. 840 с.

10. **Справочник технолога-машиностроителя:** В 2 т. / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. 5-е изд., испр. М.: Машиностроение, 2003.

## ТОКАРНЫЕ РАБОТЫ

ОБРАБОТКА  
НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ

Токарные станки предназначены для получения в основном деталей типа тел вращения, имеющих цилиндрические, конические, фасонные, сферические и винтовые поверхности, а также торцов.

Различные форм и размеров деталей влияют на способ установки заготовок для обработки и последовательность обработки. Но в то же время у этих деталей есть и много общего. Объединяющим признаком является то, что они образованы в основном наружными, внутренними и торцовыми поверхностями, имеющими общую ось вращения. Поэтому при обработке таких деталей помимо общей задачи получения заданных размеров стоит технологическая задача обеспечения соосности этих поверхностей и точного расположения торцов относительно оси детали. Эти требования обеспечиваются следующими способами установки и обработки заготовок на токарных станках:

1) обработкой соосных поверхностей с одного установа;

2) обработкой в два установа — сначала наружных поверхностей, а затем внутренних с базированием детали по наружной поверхности (обработка от наружной поверхности);

3) обработкой в два установа — сначала внутренней поверхности, а затем наружной с базированием по внутренней поверхности (обработка от отверстия).

Кроме рассмотренных способов возможны и другие. Так, на станках с ЧПУ обработку выполняют за два установа. Сначала деталь обрабатывают с одной стороны, затем поворачивают ее на  $180^\circ$  и обрабатывают с другой стороны. В этом случае поверхности, связанные жесткими допусками, желательно обрабатывать за один установ.

В качестве заготовок при обработке на токарных станках можно использовать поковки, отливки, штучные заготовки из проката.

Правильный выбор технологических баз определяет отклонение расположения поверхностей заготовки в рабочей зоне станка, а следовательно, равномерность припуска при об-

работке, точность обработки взаимосвязанных поверхностей, жесткость крепления заготовки и производительность обработки.

На токарных станках патронного типа заготовки закрепляют: в патроне, на планшайбе, на угольнике, расположенном на планшайбе. Наиболее часто используют автоматические (с приводом) быстрепереналаживаемые трехкулачковые патроны. При этом базой у заготовки служат торец, цилиндрическая и коническая (длинной не менее 8...10 мм) наружные поверхности. Кулачки могут быть закаленными или незакаленными. Закаленные кулачки применяют для крепления заготовок с необработанными поверхностями. Незакаленные кулачки обеспечивают высокую точность установки, так как сами кулачки перед обработкой партии деталей непосредственно обрабатывают на станке, а у заготовки используют ранее обработанные поверхности.

При установке в патронах обрабатывают заготовки небольшой длины. Детали сложной формы (рычаги, корпусные детали) при обработке на токарных станках *устанавливают на планшайбе*. Правильность установки проверяют выверкой положения цилиндрических поверхностей, торца и плоскости разреза. Для уменьшения вибрации применяют балансир.

Установку на угольнике применяют при обработке корпусных деталей, подшипников и т.д. Заготовку крепят в специальных приспособлениях без выверки (точность установки 0,1 мм), или на универсальном угольнике с выверкой по разметке, или обработанным ранее поверхностям и плоскости разреза — точность установки 0,5 мм. Крепление на угольнике часто применяют при обработке системы соосных отверстий разного диаметра в корпусных деталях на станках с ЧПУ.

При отсутствии рачочных станков тяжелые неуравновешенные корпусные детали обрабатывают на токарных станках с *установкой заготовки на суппорте*, инструмент крепят в шпинделе с дополнительной опорой на задней бабке.

При выверке цилиндрических заготовок, *устанавливаемых в трех- и четырехкулачковых патронах*, проверяют биение заготовки и правильность расположения ее в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Установку на центрах наиболее часто применяют для валов, барабанов, цилиндров, а также различных заготовок, закрепленных на оправках. Мелкие и средние по массе заготовки устанавливают на цельные упорные центры. В случае подрезания торца заготовки со стороны задней бабки используют полуцентр. Задние центры при обработке с высокими скоростями резания выполняют вращающимися.

Заготовки с отверстием устанавливают на центры увеличенного диаметра со срезанной вершинной конуса (*грибковые центры*). Задний центр — грибовый вращающийся, передний — рифленый. Применение рифленого центра (треугольного или многозубого) позволяет полностью обработать гладкий вал или цилиндр по наружной поверхности и подрезать оба торца у заготовки, так как обработку ведут без поводка.

Заготовки малого диаметра устанавливают на обратные центры, используя при этом конусные фаски на наружной поверхности.

Установка на *плавающий передний центр* с базированием заготовки по торцу обеспечивает высокую точность размеров по оси (при способе автоматического получения размеров).

Заготовки с отверстием большого диаметра устанавливают на центры с помощью пробок или крестовин.

Установку в патроне и на заднем центре применяют в случае обработки заготовок больших диаметра и длины, при отсутствии центрального отверстия со стороны передней бабки.

Установку в патроне и на неподвижном люнете используют для обработки отверстия и торца заготовки, а также участка заготовки, расположенного между люнетом и патроном.

Установку на центрах с использованием подвижного люнета используют при обработке нежестких заготовок. К установочной поверхности под люнет предъявляют высокие требования по суммарным отклонениям и допускам формы и расположения поверхностей.

Заготовки с отверстием при высоких требованиях к расположению баз и обрабатываемых поверхностей *устанавливают на концевых или центровых оправках*. Применяют оправки гладкие с зором, конические, кулачковые, шариковые, роликовые самозаклинивающиеся, цапговые, с тарельчатыми пружинами, с гидропластом, упругими элементами гофрированного типа, с натягом и т.д.

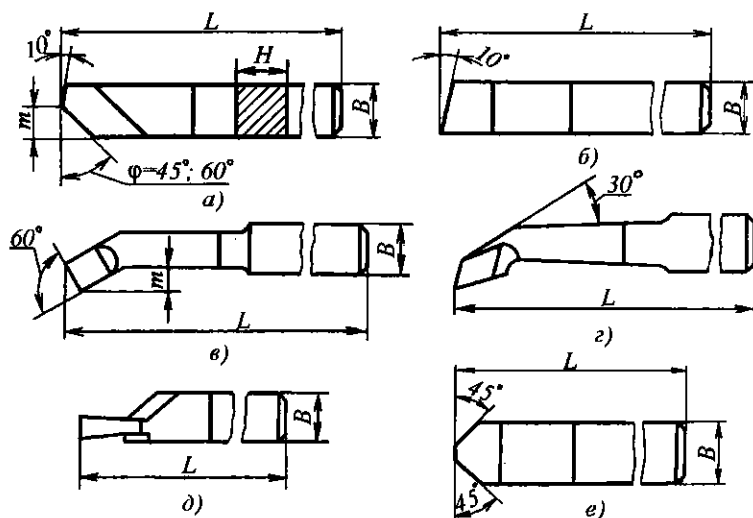
Основные инструменты, используемые на токарных станках, — резцы (табл. 1–5), сверла, зенкеры, развертки, метчики, плашки. Размеры резцов с механическим креплением многогранных твердосплавных пластин без отверстий и призматических приведены в табл. 4, твердосплавных напаиваемых пластин — в табл. 6. Для тонкого точения применяют алмазные резцы (табл. 7). При использовании специальных приспособлений на токарных станках выполняют наружное и внутреннее шлифование, сверление глубоких отверстий, обкатывание и раскатывание, фрезерование и другие операции.

1. Размеры ( $H \times B$ ) сечений державок токарных резцов, мм

D	Отношение сторон $H : B$			
	1	1,25	1,6	2,0
—	4 × 4; 5 × 5	—	—	—
6	6 × 6	6 × 5	6 × 4	6 × 3
8	8 × 8	8 × 6	8 × 5	8 × 4
10	10 × 10	10 × 8	10 × 6	10 × 5
12	12 × 12	12 × 10	12 × 8	12 × 6
16	16 × 16	16 × 12	16 × 10	16 × 8
20	20 × 20	20 × 16	20 × 12	20 × 10
25	25 × 25	25 × 20	25 × 16	25 × 12
32	32 × 32	32 × 25	32 × 20	32 × 16
40	40 × 40	40 × 32	40 × 25	40 × 20
50	50 × 50	50 × 40	50 × 32	50 × 25
63	63 × 63	63 × 50	63 × 40	63 × 32
80	80 × 80	80 × 63	80 × 50	80 × 40

Примечание. Державки изготовляют круглого ( $D = H$ ), квадратного ( $H = B$ ) и прямоугольного ( $H : B$ ) сечений.

## 2. Основные размеры токарных резцов из быстрорежущей стали, мм



Резцы	ГОСТ	Эскиз	$B$	$H$	$L$	$m$
Проходные прямые правые и левые	18869-73 (в ред. 1985 г.)	<i>a</i>	4...20	4...32	50...170	1,5...12
Проходные упорные правые и левые	18870-73 (в ред. 1981 г.)	<i>б</i>	4...20	4...32	50...140	—
Расточные для обработки сквозных отверстий	18872-73	<i>в</i>	16...25	16...25	120...240	3,5...8
Расточные для обработки глухих отверстий	18873-73	<i>г</i>	12...25	12...25	100...240	1,5...8
Прорезные и отрезные	18874-73 (в ред. 1985 г.)	<i>д</i>	4...16	4...16	50...80	—
Фасочные	18875-73 (в ред. 1981 г.)	<i>е</i>	8...20	8...32	50... 140	—

Примечания: 1. Ряд сечений державок приведен в табл. 1.

2. Ряд длин резцов  $L$  резцов: 50; 60; 70; 80; 100; 120; 140; 170; 200; 240 мм.

Форма передней поверхности стандартизованных токарных резцов, геометрические параметры их режущей части в зависимости от условий обработки, установка резцов в зависимости от характера работы, а также основные размеры заготовок и инструмента приведены соответственно в табл. 8-14.

Число операций при токарной обработке и их последовательность зависят от конфигурации, точности и качества поверхностей обрабатываемых заготовок. Ориентировочные данные по точности обработки наружных и внутренних поверхностей на станках токарной группы приведены в табл. 15 и 16. Основные способы креп-

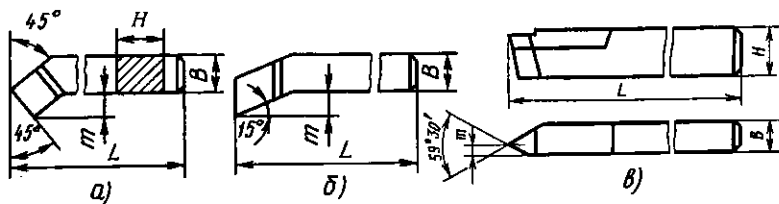
ления инструмента при растачивании отверстий на токарных станках даны в табл. 17.

При выборе оснастки для закрепления заготовок на токарных станках следует пользоваться данным табл. 18 – 24. Помимо стандартизованных применяют и нестандартизованные оправки. К ним относят оправки: с упругими разжимными шайбами, самозажимные односторонние, трехроликовые и эксцентриковые, гидропластовые, с гофрированными втулками. Самозажимные оправки используют для надежного закрепления толстостенных заготовок, при обработке которых возникают большие силы резания; другие типы оправок – для финишных операций обработки зубчатых колес, втулок.

Закрепление на оправке вызывает деформацию заготовки, вследствие чего снижается точность ее обработки. В самозажимных, цапговых и кулачковых оправках возникают асимметричные усилия закрепления (переменные по углу поворота); в цилиндрических и гидропластовых оправках, а также в оправках с упругими разжимными шайбами и гофрированными втулками развиваются осесимметричные усилия закрепления (постоянные по углу поворота). При обработке тонкостенных деталей рекомендуется использовать оправки с осесимметричным усилием закрепления.

При выборе режимов резания для обработки различных материалов на токарных станках следует пользоваться данным табл. 25 – 49.

3. Основные размеры токарных резцов с пластинами из быстрорежущей стали, мм

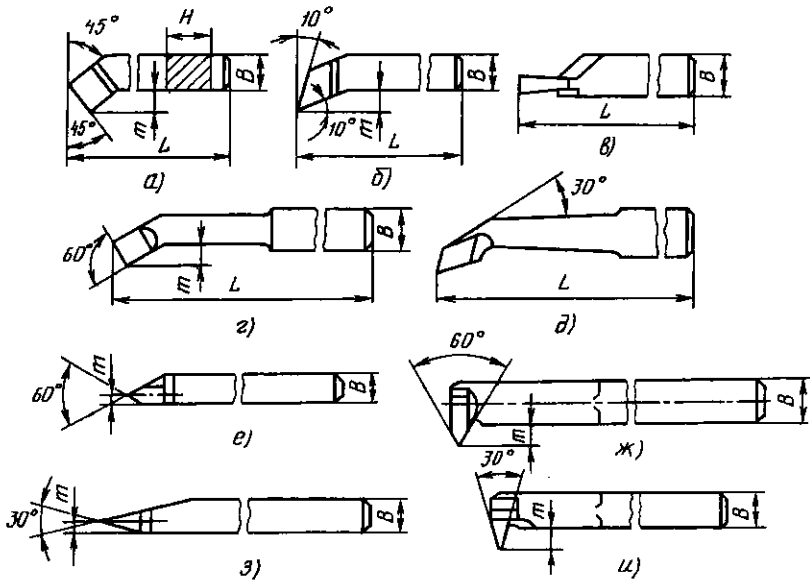


Резцы	ГОСТ	Эскиз	B	H	L	m
Прходные отогнутые правые и левые	18868–73 (в ред. 1981 г.)	a	10...25	16...40	100...200	7...18
Подрезные торцовые правые и левые	18871–73 (в ред. 1981 г.)	б	10...25	16...40	100...200	4...10
Резьбовые для резьб: наружной метрической внутренней метрической наружной трапецидальной внутренней трапецидальной	18876–73 (в ред. 1981 г.)	в	10...20 10...25 12...25 10...25	16...32 10...25 20...40 10...25	100...170 120...240 120...200 120...240	1,5...5,0 4...14 3...10 4...15

Примечания: 1. Ряд сечений державок приведен в табл. 1.  
2. Ряд длин резцов L резцов: 100; 120; 140; 170; 200; 240 мм.



## 4. Основные размеры токарных резцов с пластинами из твердого сплава, мм



Резцы	ГОСТ	Эскиз	B	H	L	m	S
Проходные отогнутые правые и левые, $\varphi = 45^\circ$	18877-73 (в ред. 1985 г.)	a	10...50	10...50	90...240	6...22	-
Подрезные торцовые правые и левые	18880-73 (в ред. 1986 г.)	б	12...50	12...32	100...240	6...14	-
Отрезные правые и левые	18884-73 (в ред. 1986 г.)	в	8...20	8...32	100...200	-	-
Расточные для отверстий:							
сквозных	18882-73 (в ред. 1986 г.)	г	16...32	16...40	170...300	6...16	-
глухих	18883-73 (в ред. 1986 г.)	д	12...32	12...40	100...300	2,5...16	-
Резьбовые:							
метрические:							
наружные	18885-73 (в ред. 1986 г.)	е	10...20	16...32	100...170	1,5...5	0,5...6
внутренние		ж	10...25	10...25	40...100	4...14	0,75...6
трапецидальные:							
наружные		з	12...25	20...40	120...200	2...12,5	2...24
внутренние		и	10...25	10...25	120...240	4...15	2...16

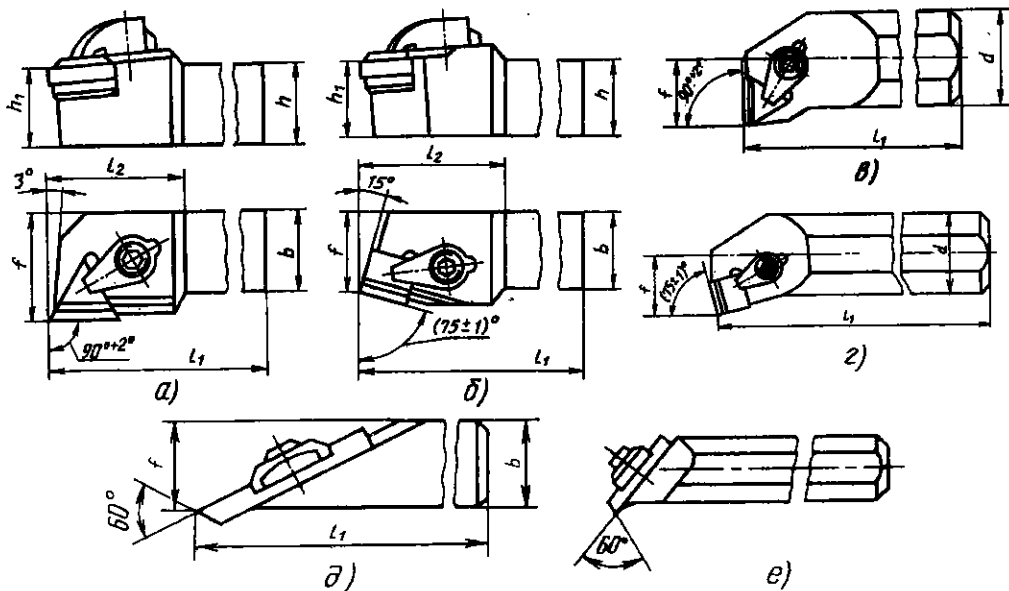
Примечания: 1. Ряд сечений державок резцов приведен в табл. 1.

2. Ряд длин L, мм: 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 125, 140, 170, 200, 240, 280, 300.

3. Параметры шероховатости передних и задних поверхностей резца, подвергавшихся доводке,  $Ra = 0,32$  мкм; не подвергавшихся доводке  $Ra = 1,25$  мкм.

4. S — шаг нарезаемой резьбы.

**5. Основные размеры токарных сборных резцов с механическим креплением пластин из твердых сплавов и керамики, мм**



Резцы	ГОСТ	Эскиз	$h$	$h_1$	$b(d)$	$f$	$l_2$	$l_1$
-------	------	-------	-----	-------	--------	-----	-------	-------

*Резцы с многогранными пластинами без отверстия*

Проходные	26611-85 (в ред. 1992 г.)	$a, б$	12...40	12...40	12...40	16...40	25...36	80...200
Подрезные	26612-85 (в ред. 1992 г.)	$в, г$	-	-	32; 50	22; 35	-	170...350

*Резьбовые резцы с призматическими пластинами*

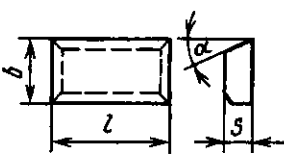
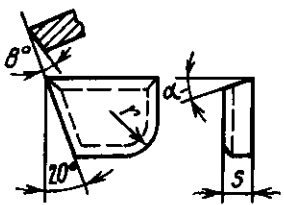
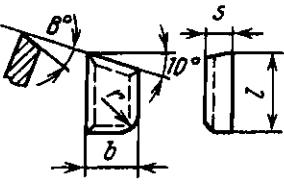
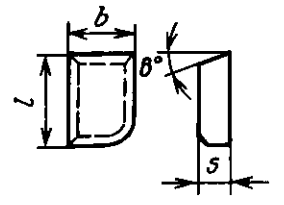
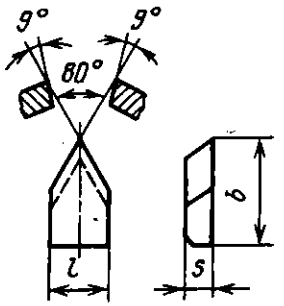
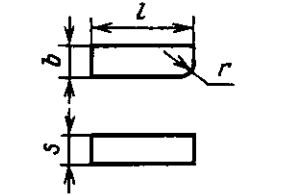
Для нарезания наружной метрической резьбы	-	$д$	25...32		20...32		-	150...170
Для нарезания внутренней метрической резьбы	-	$е$	25...32		20...32		-	150...170

Примечания: 1. Проходные и подрезные резцы изготовляют 20-ти типов: с пластинами трехгранной формы с углом  $\varphi^\circ$ : 60 и 90; с пластинами квадратной формы с углом  $\varphi^\circ$ : 45; 75 и ромбической формы с углом  $\varphi = 95^\circ$ .

2. Ряд шагов резьб, мм: 0,5; 0,75; 0,80; 1,00; 1,25; 1,50; 1,75; 2,00.

3. ГОСТ 26613-85 (в ред. 1992 г.) - резцы токарные с механическим креплением многогранных пластин.

## 6. Твердосплавные напайваемые пластины, мм

Резцы	ГОСТ	Эскиз	$l(D)$	$b(h)$	$s(a)$	$r$	$\alpha, ^\circ$
Проходные, расточные и револьверные	25395-90		5...60	3...25	2...12	-	8; 18
Подрезные и расточные при растачивании глухих отверстий	25397-90		8...40	7...22	2,5...10	4...12,5	8; 18
Подрезные, проходные, расточные и револьверные	25426-90		6...25	4...14	2...8	2,5...8	8; 18
Проходные прямые, расточные и револьверные	25396-90		5...50	3...25	2...14	2...14	8; 18
Автоматные	25401-90		4...32	10...32	2,5...10	-	9
Проходные и отрезные к автоматам продольно-фасонного точения	25421-90		16	4	1...3	4	-

Продолжение табл. б

Резцы	ГОСТ	Эскиз	$l(D)$	$b(h)$	$s(d)$	$r$	$\alpha, ^\circ$
Фасочные	25420-90		12...20	6...12	4,5...7	2...6	-
Отрезные и прорезные	17163-90	<p>Исполнение 1</p>	3,5...12,5	8...20	3...12	-	14; 18
		<p>Исполнение 2</p>	3...12	10...25	3...10	-	18
Резьбовые	25398-90		3...10	10...25	2,5...6	-	6
Для нарезания трапецидальной резьбы	25422-90		12...25	4...18	4...7	-	10

Окончание табл. 6

Резцы	ГОСТ	Эскиз	$l(D)$	$b(h)$	$s(d)$	$r$	$\alpha, ^\circ$
Для прорезки канавок под сальниковые кольца	20312-90		14...30	7...19	3...7	1,5...13	18
Желобочные	25419-90		12...18	7,8...30	3,5...12	4...16	20
Расточные при снятии тонких стружек	25417-82		10...25	-	3,2...5,2	-	-
Чашечные	25403-82 (в ред. 1991 г.)		28,6...46,5	10...12	10...15	-	6

**7. Основные размеры алмазных резцов и вставок (ГОСТ 13297-86 (в ред. 1991 г.)), мм**

Резцы	$d_1$	$h$	$l_1$	Масса алмаза, кар
Расточные с напаянным алмазом для сквозных и глухих отверстий	6	6	40	0,11...0,30
	8	8	40	
	10	10	60	
	12	12	80	0,31...0,40
	16	16	100	0,41...0,60
	20	20	125	
Цилиндрические расточные вставки с напаянным алмазом	5	4	10 16	0,11...0,20
	6	5	10 16	0,21...0,30
Алмазные треугольные вставки для токарных и расточных резцов	—	3 4 5 6 7 5 6 7	9 12	0,21...0,30
			15	0,31...0,40
				0,41... 0,60
			15	0,61...0,85

Примечания: 1.  $d_1$  — диаметр державки или хвостовика;  $h$  — сторона квадрата хвостовика;  $l_1$  — длина державки в сборе с резцом.

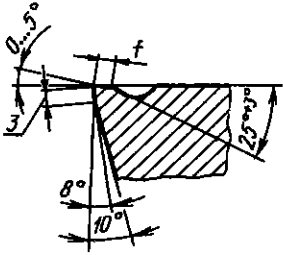
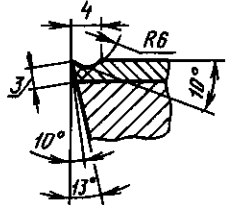
2. Зависимость между размерами алмазных резцов и диаметрами растачиваемых отверстий:

$h$ или $d_1$ , мм .....	6...10	12	16	20
Наименьший диаметр растачиваемых отверстий, мм .....	8	10	14	14

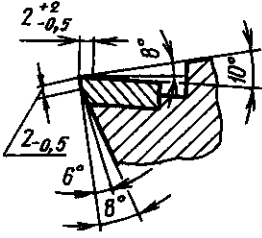
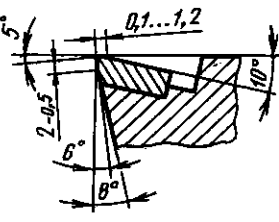
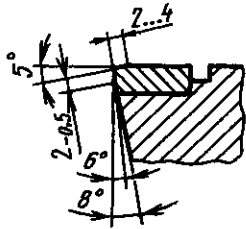
**8. Форма заточки режущей части резцов**

Форма заточки передней поверхности	Эскиз	Обрабатываемый материал
Плоская с положительным передним углом	<p style="text-align: center;"><i>Быстрорежущие резцы</i></p>	Сталь с $\sigma_b \geq 800$ МПа, серый чугун с НВ > 220, бронза и другие хрупкие материалы
		Сталь с $\sigma_b \leq 800$ МПа, чугун с НВ $\leq 220$

Продолжение табл. 8

Форма заточки передней поверхности	Эскиз	Обрабатываемый материал
Криволинейная с фаской		Сталь с $\sigma_b \leq 800$ МПа, вязкие цветные металлы и легкие сплавы при необходимости завивания стружки
Криволинейная		Материалы с $\sigma_b = 800 \dots 1000$ МПа

## Резцы с пластинами из твердого сплава

Плоская: с положительным передним углом		Серый чугун, бронза и другие хрупкие материалы
с отрицательной фаской		Ковкий чугун, сталь и стальные отливки с $\sigma_b \leq 800$ МПа, а также с $\sigma_b > 800$ МПа при недостаточной жесткости техникологической системы; для отвода и дробления стружки следует применять стружколом
с отрицательным передним углом		Сталь и стальные отливки с $\sigma_b > 800$ МПа, загрязненные неметаллическими включениями (черновая обработка). Работа с ударами в условиях жесткой техникологической системы

Окончание табл. 8

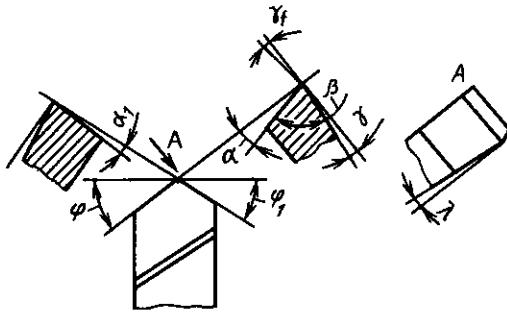
Форма заточки передней поверхности	Эскиз	Обрабатываемый материал
с мелкой лункой		Сталь и стальные отливки при $\gamma = 0$ , $\sigma_s \leq 600$ МПа; при $\gamma = -5^\circ$ , $\sigma_s \geq 600 \dots 800$ МПа
Криволинейная с отрицательной фаской		Материалы: с $\sigma_s = 700 \dots 1000$ МПа при $f = 0,1 \dots 0,3$ , $\gamma = 12^\circ$ ; с $\sigma_s$ до 1300 МПа при $f = 0,15 \dots 0,40$ , $\gamma = 8 \dots 10^\circ$ ; с $\sigma_s$ до 1200 МПа при $f = 0,15 \dots 0,40$ , $\gamma = 3 \dots 5^\circ$
Плоская, с отрицательной фаской и припайным стружколомом		Обработка стали и стального литья $\sigma_s \leq 800$ МПа при необходимости завивания и дробления стружки
Криволинейная, с отрицательной фаской		Обработка коррозионно-стойких сталей $\sigma_s \leq 850$ МПа
Плоская с отрицательным передним углом		Обработка материалов с $\sigma_s$ свыше 1200 МПа

Примечания: 1. Доводку передней и задней поверхностей производить вдоль главной режущей кромки и по радиусу.

2. Для упрочнения вершин резцов из твердых сплавов и лучшего теплоотвода рекомендуется затачивать их вспомогательную поверхность под углом  $15^\circ$  на длине 3...5 мм.



## 9. Геометрические параметры режущей части резцов, °



Обрабатываемый материал	$\gamma_f$	$\gamma$	$\alpha$	$\lambda$
<i>Точение и растачивание резцами с пластинами из быстрорежущей стали</i>				
Углеродистая, легированная и инструментальная стали, стальные отливки с HB < 340 и $\sigma_b$ < 1200 МПа	—	25...30	8...12	0
Серый и ковкий чугун с HB < 200	—	12...18	8...12	-4...4
Медь	—	30	10...15	—
Бронза, латунь	—	25...30	8...12	—
<i>Точение и растачивание резцами с пластинами из твердого сплава</i>				
Конструкционные углеродистая и легированные стали, стальные отливки с $\sigma_b$ , МПа:				
до 1000	-3...5	15	8...12	—
более 1000	-10	—	12	—
Серый чугун с HB:				
до 220	—	12	6...10	—
более 220	-3...5	8	6...10	—
Ковкий чугун с HB = 140...150	—	15	8...12	—
<i>Непрерывное точение резцами из твердого сплава</i>				
Сплавы титана	—	5...7	10...12	0
Точение по корке, обдирка слитков резцами из твердого сплава	-5	0	10...12	5...10
Отрезка, прорезка канавок резцами из твердого сплава	0...5	10	10	—
<i>Непрерывное точение резцами с минералокерамическими пластинами</i>				
Сталь с $\sigma_b$ , МПа:				
до 700	-5...10	10...15	8...10	0...5
более 700	—	10	8...10	0...5
Чугун с HB:				
до 220	-5	10	8...10	0...5
более 220	-5	0...5	8...10	0...5

10. Значения углов  $\varphi$  в зависимости от условий обработки, °

Условия обработки	$\varphi$
Обтачивание и растачивание ступеичатых заготовок недостаточной жесткости	90
Отрезание заготовок без бобышек	80
Обтачивание и проход заготовок малой жесткости, растачивание чугуна	60...75
Обтачивание жестких заготовок проходными резцами	45...60
Чистовое обтачивание с малой глубиной резания	10...30

11. Значения углов  $\varphi_1$  при обработке резцами различных типов, °

Резцы	$\varphi_1$
Проходные (обработка без врезания): из быстрорежущей стали	5...10
с пластинами из твердого сплава	15
Проходные; врезание на глубину, мм: до 3	15
более 3	20...30
Подрезные и расточные: из быстрорежущей стали	10...15
с пластинами из твердого сплава	20
Прорезные и отрезные	1...2
Отогнутые	30...45
Широкие	0

## 12. Геометрические параметры режущей части резцов для обработки пластмасс, °

Пластмасса	Марка материала инструмента	$\gamma$	$\alpha$	$\varphi$	$\varphi_1$
Оргстекло	BK8	10 20	15 20	45	15
Фторопласт		0 10	20	45	15
Стеклотекстолит		5	25	45	15
Стеклопластик		0...2	15...20	45	20
Гетинакс	BK6M	8...12	20	45	12
Фенопласт	BK3M	10	20	45	15
Волокнит	BK2	5	25	45	15

## 13. Установка резцов в зависимости от характера работы

Резец	Обработка	Обрабатываемая заготовка	Установка резца относительно центра заготовки
Проходной	Черновое обтачивание наружных поверхностей	Маложесткая (длинная и тонкая)	По центру
		Жесткая	Выше центра
		Жесткая из очень твердого материала	Ниже центра
		Маложесткая	По центру
Чистовое обтачивание	Жесткая		
Проходной и фасонный	Обтачивание конусов, фасонных поверхностей, ступенчатых деталей	Любого типа	По центру
Резьбовой	Нарезание резьбы		
Расточной	Черновое растачивание		По центру или выше центра
	Чистовое растачивание		

## 14. Основные размеры заготовок и инструмента для обработки на токарных и токарно-винторезных станках, мм

Наибольшие размеры заготовки			Диаметр цилиндрического отверстия в шпинделе, не менее	Высота устанавливаемого резца, не менее
Диаметр над станиной	Диаметр над суппортом	Длина		
125	63	250	16	8
160	80	250; 350	20	10
200	100	350; 500	25	12
250	125	500; 750; 1000	32	16
320	160		40	20
400	210	750; 1000; 1500	50	25
500	260	1000; 1500; 2000	63	32
630	350	1500; 2000; 3000	80	
800	450	3000; 4000; 5000	100	40
1000	600	3000; 5000; 8000	125	50
1250	800	6000; 18 000; 10 000; 12 500	-	63
1600	1120	18 000; 10 000; 12 500; 16 000		
2000	1400	10 000; 16 000; 20 000	-	80
2500	1800	12 500; 20 000		
3150	2300	16 000; 20 000	-	100
4000	3000	20 000; 24 000		

Примечание. Масса заготовки, закрепляемой в центрах, зависит от ее диаметра:

Диаметр, мм .....	1250	1600	2000	2500	3150	4000
Масса, т, не менее .....	25	40	63	100	160	250

### 15. Точность размеров и параметр шероховатости наружных и внутренних цилиндрических поверхностей при обработке на токарных станках

Обработка	Квалитет	Параметр шероховатости, мкм		
		Rz	Ra	
Обтачивание:	чериовое	13; 12	80	—
	получистовое	11 – 9	40...20	—
	чистовое	8; 7	—	2,5
	тоикое	7; 6	—	1,25...0,63
Сверление	12; 11	40...20	—	
Зенкерование:	черновое	12; 11	40	—
	получистовое	11	20	—
	чистовое	9; 8	—	2,5
Развертывание:	чериовое	9; 8	—	2,5...1,25
	чистовое	7; 6	—	0,63...0,32
	тоикое	6	—	0,16
Растачивание:	черновое	13; 12	80...40	—
	получистовое	11; 10	40...20	—
	чистовое	9 – 7	—	2,5...0,63
	тонкое	6; 5	—	0,32...0,08
Подрезка торца резцом:	черновая	12	40	—
	чистовая	11	20	—
	тонкая	8; 7	—	2,5...1,25

### 16. Отклонение от соосности поверхностей тел вращения, обработанных на токарных станках

Способ обработки поверхности	Отклонение от соосности, мм	
В центрах:	с одного установа	0,004...0,008
	с двух установов	0,008...0,015
На оправке:	проточечной по месту (на том же станке)	0,004...0,008
	при отклонении от соосности оправки с поверхностью шпинделя и поверхностью заготовки не более $\pm 0,002$ мм	0,008...0,012

### 17. Основные способы крепления инструмента при растачивании отверстий на токарных станках

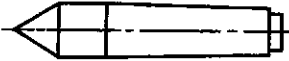
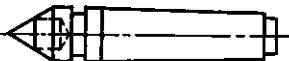
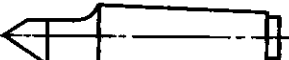

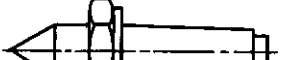
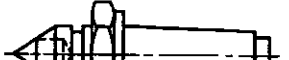
Способ крепления инструмента	Размеры отверстия, мм		l / d
	d	l	
В суппорте	До 70	До 150	До 5
В коисольной оправке	Св. 70	Св. 150	До 5
В оправке с дополнительной опорой	—	—	Св. 5

Условные обозначения: l – длина обрабатываемого отверстия; d – его диаметр.

## 18. Установка заготовок на токарных станках

Заготовки	Способ установки	Точность обработки, мм
Жесткие цилиндрические; $l/d = 5...12$	В центрах	—
Нежесткие цилиндрические; $l/d > 12$	В центрах и на люнетах	—
Жесткие небольшой длины; $l/d < 5$	В патронах (крепление за наружную и внутреннюю поверхность)	При установке; без выверки — 0,1; в термически необработанных кулачках — 0,03; с выверкой, в четырехкулачковом патроне — 0,05
С предварительно обработанным базовым отверстием	На оправках	—
Больших диаметра и длины	В патроне и заднем центре	0,05...0,10
Нежесткие сложной конфигурации; $l/d > 12$	В патроне и на неподвижном люнете	0,03...0,05 (установка с выверкой)
Корпусные сложной формы	На планшайбе	—
Корпусные	На угольнике	0,1

## 19. Центры и полуцентры упорные для токарных работ

Наименование	Эскиз
Центры упорные ГОСТ 13214-79 (в ред. 1992 г.)	Исполнение 1 
	Исполнение 2 
Полуцентры упорные ГОСТ 2576-79 (в ред. 1992 г.)	Исполнение 1 
	Исполнение 2 
Центры упорные с отжимной гайкой ГОСТ 2575-79 (в ред. 1992 г.)	Исполнение 1 
	Исполнение 2 

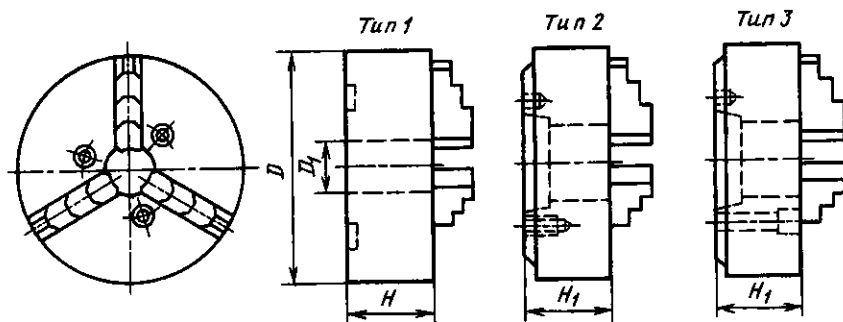
**20. Патроны стандартизованные для токарных работ**

Патроны	ГОСТ
Токарные поводковые	2571-71 (в ред. 1988 г.)
Самоцентрирующие трехкулачковые (фланцы промежуточные к самоцентрирующим патронам по ГОСТ 3889-80 (в ред. 1988 г.))	2675-80 (в ред. 1988 г.)
Токарные клиновые и рычажно-клиновые самоцентрирующие трех- и двухкулачковые	24351-80 (в ред. 1988 г.)
Четырехкулачковые с независимым перемещением кулачков	3890-82 (в ред. 1988 г.)
Магнитные	24568-81 (в ред. 1991 г.)
Для нарезания резьбы на токарных станках (втулки для плашек к патронам для нарезания резьбы на токарных станках по ГОСТ 21939-76 (в ред. 1983 г.); втулки для метчиков к патронам для нарезания резьбы на токарных станках по ГОСТ 21940-769 (в ред. 1983 г.)	21938-76 (в ред. 1983 г.)
Самоцентрирующие двухкулачковые	14903-69 (в ред. 1989 г.)

**21. Основные размеры стандартизованных кулачковых патронов, мм**

Патроны	D	H	D <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>
---------	---	---	----------------	----------------

*Самоцентрирующие спирально-реечные трехкулачковые (ГОСТ 2675-80 (в ред. 1988 г.)) классов точности Н, П, В и А*



Изготавливают трех типов:

- 1 - с креплением непосредственно на фланцевых концах шпинделей под поворотную шайбу (ГОСТ 12593-93);
- 2 - с цилиндрическим центрирующим пояском через переходный фланец;
- 3 - с креплением на фланцевых концах шпинделей (ГОСТ 12595-85 (в ред. 1988 г.)).

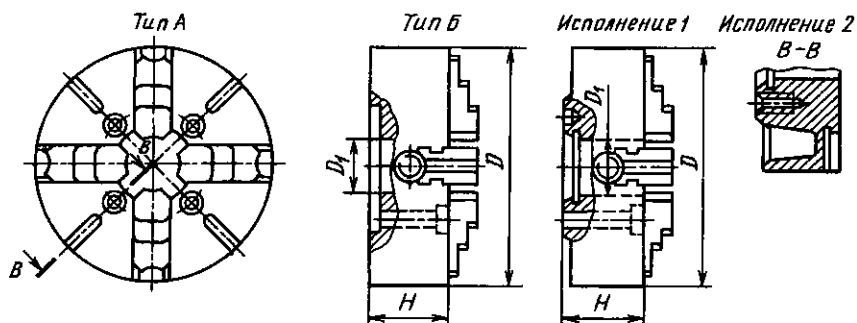
Патроны всех типов изготавливают двух исполнений:

- 1 - с цельными кулачками;
- 2 - со сборными кулачками

80	50	16	-
100	55	20	-
125	60	25	65
160	65	40	75
200	75	50	85
250	85	65	95
315	95	80	100
400	105	100	110
500	115	140	120
630	125	190	130

Патроны	$D$	$H$	$D_1$	$H_1$
---------	-----	-----	-------	-------

Четырехлапчатые (ГОСТ 3890-82 (в ред. 1988 г.))



Изготавливают двух типов:

А – для крепления на фланцевые концы шпинделей;

Б – для крепления на резьбовые концы шпинделей через переходные фланцы.

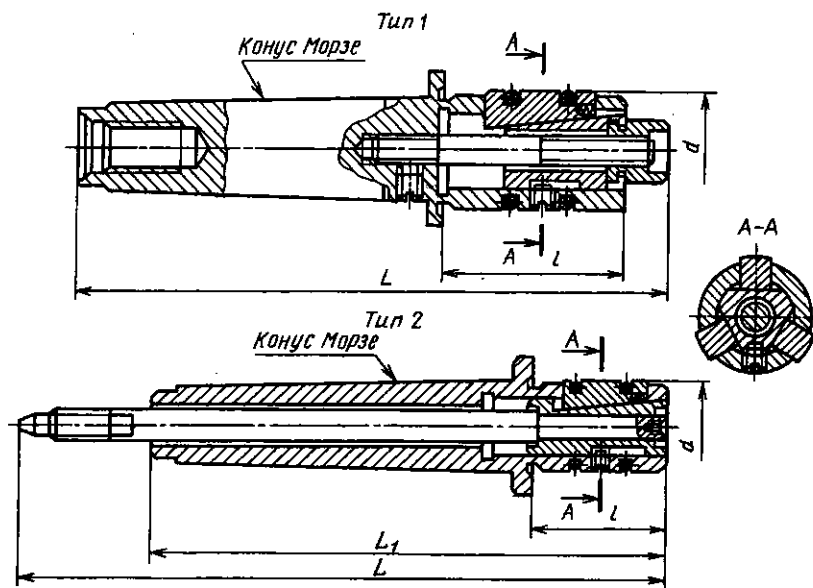
Патроны типа А – двух исполнений:

1 – с креплением на фланцевые концы шпинделей исполнения А (ГОСТ 12595-85 (в ред. 1988 г.);

2 – с креплением на фланцевые концы шпинделей под поворотную шайбу (ГОСТ 12593-93)

160	65	40	—
200	75	50	—
250	85	65	—
315	95	80	—
400	105	100	—
500	115	130	—
630	125	160	—
800	135	200	—
1000	135	200	—

## 22. Оправки стандартизованные



Окончание табл. 22

Оправки кулачковые ГОСТ 31.1066.04-97	Конус Морзе	Размеры, мм			
		$d$	$L$	$l$	$L_1$
Кулачковые шпиндельные с зажимом: ручным винтовым, тип 1 пневматическим, тип 2	4...6	36...90	200...372	60...120	—
			250...420		190...340

## 23. Точность установки заготовок в патронах и на оправках без выверки

Тип установочного патрона или оправки	Квалитет размера базовой поверхности заготовки	Погрешность установки заготовки, мкм, в направлении	
		радиальном	осевом
Оправки: цанговые с диаметрами установочных поверхностей, мм: до 50 св. 50 до 200 цилиндрические с гайками (установка заготовки с зазором) конусные при длине установочного отверстия заготовки не менее $1,5d$	6-9	10...35	20
	6-9	20...60	50
	8-11	В пределах допуска	10
	6	30	Определяется размерами заготовок и оправок
Патроны: трехкулачковые с термически необработанными кулачками или разрезными втулками при диаметрах до 120 мм двухкулачковые для заготовок диаметром 200 мм: с винтами с рейками мембранные	При зазоре до закрепления 0,02...0,1 мм	10...30	10...120
	11-13	100...200	50...100
	11-13	20...60	15...40
	6-9	35	—
Патроны и оправки: с упругими втулками и гидропластмассой при $l \leq 0,5d$ и $l > 3,0d$ с пластинчатыми (тарельчатыми) пружинами с упругими втулками и роликами, опоры которых имеют форму гиперболоида вращения с упругими элементами гофрированного типа	6-9	3...10	—
	6-11	10...20	—
	6; 7	3...8	—
	5; 6	2...5	—

Примечания: 1. Применение пневматических и гидравлических силовых узлов уменьшает погрешность установки на 20...40%.

2. Термически необработанные кулачки и втулки рекомендуется использовать при партии деталей не более 100 шт.



## 24. Точность установки заготовок в цанговом и трехкулачковом патронах без выверки

Заготовка; условия установки заготовки	Погрешность установки, мкм, при диаметре базы, мм								
	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 260	Св. 260 до 500
<i>Установка в цанговом патроне</i>									
Используется шлифованная контрольная оправка, установленная в новом патроне	15...20	15...40	20...45	25...50	30...75	-	-	-	-
Пруток, калиброванный по 12, 13-му качеству	$\frac{50}{30}$	$\frac{60}{40}$	$\frac{70}{50}$	$\frac{90}{60}$	$\frac{100}{70}$	$\frac{120}{80}$	-	-	-
<i>Установка в трехкулачковом самоцентрирующем патроне</i>									
Пруток горячекатаный:									
повышенной точности	$\frac{100}{70}$	$\frac{120}{80}$	$\frac{150}{100}$	$\frac{200}{130}$	$\frac{300}{200}$	$\frac{450}{300}$	$\frac{650}{420}$	-	-
обычной точности	-	$\frac{200}{130}$	$\frac{220}{150}$	$\frac{280}{190}$	$\frac{400}{250}$	$\frac{500}{350}$	$\frac{800}{520}$	-	-
Штучная заготовка:									
со шлифованной базой		$\frac{20}{10}$			$\frac{30}{15}$		$\frac{40}{25}$		$\frac{50}{30}$
с чисто обработанной базой		$\frac{50}{30}$			$\frac{80}{50}$		$\frac{100}{80}$		$\frac{120}{100}$
Отливка, полученная литьем по выплавляемой модели или в оболочковую форму; предварительно обработанная поверхность		$\frac{100}{50}$			$\frac{150}{80}$		$\frac{200}{100}$		$\frac{250}{120}$
Отливка, полученная литьем в постоянную форму; штампованная заготовка, полученная на кривошипном прессе		$\frac{200}{80}$			$\frac{300}{100}$		$\frac{400}{120}$		$\frac{500}{150}$

Примечания: 1. В числителе дроби приведена погрешность установки заготовки в радиальном направлении, в знаменателе – в осевом направлении; для шлифованной контрольной оправки приведена погрешность установки заготовки в радиальном направлении.

2. При установке в цанговых патронах штучных заготовок погрешность установки в осевом направлении увеличивается на 10...30 мкм по сравнению с установкой прутковых заготовок.

3. При неподвижной цанге смещение в осевом направлении минимально (5...20 мкм).

4. Поджатие заготовок при закреплении в патронах снижает погрешность установки на 20...30 %.

5. В патронах с пневматическими и гидравлическими приводами погрешность установки уменьшается на 20...40 % по сравнению с табличными значениями.

**25. Скорости резания при черновом обтачивании заготовок из конструкционной углеродистой стали быстрорежущими резцами, м/мин**

Глубина резания, мм	Подача, мм/об						
	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5
3	56	40	36	30	26	—	—
4	52	38	33	28	24	21	—
6	47	34	30	25	21	19	16
8	—	31	28	23	20	18	15
10	—	—	26	22	19	17	14
12	—	—	—	21	18	16	14

Примечания: 1. При обработке заготовок из других материалов табличные значения следует умножить на поправочные коэффициенты, приведенные в табл. 34.

2. Скорости резания даны для периода стойкости резца 60 мин.

**26. Скорости резания при черновом обтачивании заготовок из углеродистой, хромистой, хромоникелевой сталей и стальных отливок резцами из твердого сплава Т15К6 с дополнительной режущей кромкой при  $\phi_1 = 0$ , м/мин**

Глубина резания, мм	Подача, мм/об				
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
3	125	111	101	95	90
4	120	106	97	91	80
5	116	103	94	88	—

Примечание. Поправочные коэффициенты на условия работы приведены в табл. 35.

**27. Скорости резания при черновом обтачивании заготовок из серого чугуна резцами из твердого сплава ВК6 с дополнительной режущей кромкой при  $\phi_1 = 0$ , м/мин**

Глубина резания, мм	Подача, мм/об				
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
3	100	86	76	69	64
4	94	80	71	65	61
5	91	78	68	63	—

Примечание. Поправочные коэффициенты на условия работы приведены в табл. 35.

**28. Скорости резания при черновом обтачивании заготовок из углеродистой, хромистой, хромоникелевой сталей и стальных отливок резцами из твердого сплава Т15К6 при  $\phi_1 > 0$ , м/мин**

Глубина резания, мм	Подача, мм/об						
	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5
3	198	166	157	140	127	—	—
4	190	160	150	134	122	117	—
6	178	150	141	126	113	112	98
8	—	144	131	121	110	105	94
10	—	—	127	117	106	100	90
12	—	—	—	113	103	98	88

Примечания: 1. Скорости резания даны для периода стойкости 60 мин.

2. Поправочные коэффициенты на условия работы приведены в табл. 35.

**29. Скорости резания при черновом обтачивании заготовок из серого чугуна резцами из твердого сплава ВК6 при  $\varphi_1 > 0$ , м/мин**

Глубина резания, мм	Подача, мм/об						
	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5
3	138	121	111	100	91	—	—
4	132	115	107	95	87	80	—
6	124	109	100	89	82	76	82
8	—	104	96	86	78	73	78
10	—	—	93	83	76	70	76
12	—	—	—	80	74	68	73

Примечания: 1. Скорости резания даны для периода стойкости реза 60 мин.  
2. Поправочные коэффициенты на условия работы приведены в табл. 35.

**30. Скорости резания при чистовом обтачивании и растачивании заготовок из углеродистой, хромистой, хромоникелевой сталей и стальных отливок резцами из твердого сплава Т15К6 при  $\varphi_1 > 0$ , м/мин**

Глубина резания, мм	Подача, мм/об					
	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60
1,0	270	235	222	—	—	—
1,5	253	220	208	199	—	—
2,0	244	211	199	191	176	166

Примечание. Поправочные коэффициенты на условия работы приведены в табл. 35.

**31. Скорости резания при чистовом обтачивании заготовок из стали резцами из твердого сплава Т15К6 с дополнительной режущей кромкой при  $\varphi_1 = 0$ , м/мин**

Глубина резания, мм	Подача, мм/об			
	2	3	4	5
0,5	161	153	—	—
1,0	—	—	119	115

Примечание. Поправочные коэффициенты на условия работы приведены в табл. 35.

**32. Скорости резания при чистовом обтачивании и растачивании заготовок из серого чугуна резцами из твердого сплава ВК6 при  $\varphi_1 > 0$ , м/мин**

Глубина резания, мм	Подача, мм/об					
	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60
1,0	187	176	162	—	—	—
1,5	175	165	152	144	—	—
2,0	168	158	145	138	127	118

Примечание. Поправочные коэффициенты на условия работы приведены в табл. 35.

### 33. Скорости резания в зависимости от подачи при черновом и чистовом обтачивании заготовок из медных сплавов резцами из быстрорежущей стали, м/мин

Глубина резания, мм	Подача, мм/об					
	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2
1	114	89	80	70	63	—
2	105	82	75	65	58	—
3	100	78	71	61	55	—
4	97	75	69	58	53	49
6	—	—	65	57	50	46

- Примечания: 1. Скорости резания даны для периода стойкости резца 60 мин.  
 2. При работе по корке скорости резания должны составлять 0,9 табличного значения.  
 3. Скорости резания даны для материалов с твердостью 100...140 НВ.

### 34. Поправочные коэффициенты на скорость резания для измененных условий обработки резцами из быстрорежущей стали при обработке заготовок из стали

Сталь	K <sub>1</sub> при σ <sub>b</sub> , МПа								
	380... 440	450... 510	520... 590	600... 700	710... 800	810... 930	940... 1070	1080... 1200	
Углеродистая	2,22	2,20	1,67	1,28	1,00	0,77	0,59	0,46	
Хромоникелевая	2,07	1,75	1,40	1,11	0,90	0,72	0,57	0,46	
Хромистая	2,19	1,74	1,34	1,02	0,80	0,62	0,47	0,37	
Хромомарганцевая, хромо-кремнистая или близкая к ним	1,66	1,36	1,06	0,86	0,70	0,56	0,44	0,36	
Обрабатываемая поверхность	Без корки				С коркой				
K <sub>2</sub>	1,0 (прокат или поковка)				0,9 (прокат)		0,8 (поковка)		
Главный угол резца в плане, °	30		45		60		75		90
K <sub>3</sub>	1,26		1,00		0,84		0,75		0,66
Радиус при вершине резца, мм	1		2		3		5		
K <sub>4</sub>	0,94		1,00		1,03		1,13		
Обработка	С охлаждением				Без охлаждения				
K <sub>5</sub>	1,00				0,88				

### 35. Поправочные коэффициенты к табличным значениям скоростей резания при обработке резцами с пластинами из твердого сплава

Обрабатываемый материал	Сталь	$\sigma_b$ , МПа	400...500	500...600	600...700	700...800	800...900	900...1000
		$K_1$	1,65	1,35	1,15	1,00	0,88	0,75
	Чугун	HB	120...140	140...160	160...180	180...200	200...220	220...250
$K_1$		1,60	1,34	1,15	1,00	0,88	0,77	
Обрабатываемая поверхность		Без корки		С коркой		Загрязненная		
$K_2$		1,00		0,85...0,88		0,56...0,60		
Твердый сплав		T30K4	T15K6T	T15K6	T14K8	T5K10		
$K_3$ (обработка стали)		1,40	1,15	1,00	0,80	0,65		
Твердый сплав		BK2		BK3		BK6		BK8
$K_3$ (обработка чугуна)		1,2	1,15	1,00	0,83			
Главный угол резца в плане, °		30	45	60	75	90		
$K_4$ при обработке:								
стали		1,13	1,00	0,92	0,86	0,81		
чугуна		1,20	1,00	0,88	0,83	0,79		

### 36. Подача в зависимости от требуемой шероховатости поверхности (резцы с пластинами из твердого сплава и быстрорежущей стали)

Параметр шероховатости поверхности, мкм	Обрабатываемый материал	Диапазон скоростей резания, м/мин	Подача, мм/об, при радиусе $r$ при вершине резца, мм		
			0,5	1,0	2,0
$Rz = 20...40$	Углеродистая и легированная стали Чугун, бронза и алюминиевые сплавы	До 50	0,3...0,5	0,45...0,6	0,55...0,7
		Св. 50	0,4...0,55	0,55...0,65	0,65...0,7
		Весь диапазон скоростей	0,25...0,4	0,40...0,5	0,5...0,6
$Rz = 10...20$	Углеродистая и легированная стали Чугун, бронза и алюминиевые сплавы	До 50	0,18...0,25	0,25...0,3	0,3...0,4
		Св. 50	0,25...0,3	0,3...0,35	0,35...0,5
		Весь диапазон скоростей	0,15...0,25	0,25...0,4	0,4...0,6
$Ra = 1,25...2,5$	Углеродистая и легированная стали Чугун, бронза и алюминиевые сплавы	До 50	0,10	0,11...0,15	0,15...0,22
		50...100	0,11...0,16	0,16...0,25	0,25...0,35
		Св. 100	0,16...0,2	0,2...0,25	0,25...0,35
		Весь диапазон скоростей	0,14...0,15	0,15...0,20	0,2...0,35

**37. Скорости резания при отрезке и прорезке канавок резцами с пластинами из твердого сплава, м/мин**

Обрабатываемый материал			Подача $S_p$ , мм/об											
Группа	$\sigma_b$ , МПа	НВ	0,09	0,10	0,12	0,14	0,16	0,19	0,22	0,25	0,29	0,39	0,52	0,70
Конструкционная углеродистая и легированная стали	440...490	126...140	245	218	193	172	153	136	120	107	95	75	59	—
	500...550	141...158	218	193	172	153	136	120	107	95	85	67	53	—
	560...620	159...177	193	172	153	136	120	107	95	85	75	59	47	—
	630...700	178...200	172	153	136	120	107	95	85	75	67	53	42	—
	710...790	201...226	153	136	120	107	95	85	75	67	59	47	37	—
	800...890	227...255	136	120	107	95	85	75	67	59	53	42	33	—
	900...1000	256...286	120	107	95	85	75	67	59	53	47	37	29	—
Ковкий чугун	—	149...163	100	95	89	84	79	75	70	66	62	55	49	44
	—	До 201	84	79	775	70	66	62	59	55	52	46	41	36
	—	163...229	75	70	66	62	59	55	52	49	46	41	36	32
Серый чугун	—	143...299	75	70	66	62	59	55	52	49	46	41	36	32
	—	170...255	66	62	59	55	52	49	46	44	41	36	32	29
	—	157...269	59	55	52	49	46	44	41	39	36	32	29	26

Примечание. Поправочные коэффициенты к скорости резания для измененных условий работы приведены в табл. 38.

**38. Поправочные коэффициенты к скорости резания для измененных условий работы при отрезке и прорезке канавок**

Отношение диаметров	0...0,4	0,5...0,7	0,8...1,0
Коэффициент	1,0	0,96	0,82
Условия обработки	Без охлаждения		С охлаждением
Коэффициент	1,0		1,4
Материал заготовки	Сталь		Чугун
Материал резцов	T15K10	T15K6	ВК6 ВК8
Коэффициент	1,0	1,54	1,0 0,83

**39. Подачи при отрезке и прорезке канавок, мм/об**

Диаметр обрабатываемой заготовки, мм	Ширина резца, мм	Заготовки		
		из стали и стальные отливки с $\sigma_b$ , МПа		из чугуна
		до 800	св. 800	
До 20	3	0,08...0,10	0,06...0,08	0,11...0,14
20...30	3	0,10...0,12	0,08...0,10	0,13...0,16
30...40	3...4	0,12...0,14	0,10...0,12	0,16...0,19
40...60	4...5	0,15...0,18	0,13...0,16	0,20...0,22
60...80	5...6	0,18...0,20	0,16...0,18	0,22...0,25
80...100	6...7	0,20...0,25	0,18...0,20	0,26...0,30
100...125	7...8	0,25...0,30	0,20...0,22	0,30...0,35
125...150	8...10	0,30...0,35	0,22...0,25	0,35...0,40

Примечание. При отрезании сплошного материала по мере приближения резца к центру указанные в таблице значения подач следует уменьшить на 40...50 %.

**40. Ориентировочные скорости резания при обработке заготовок  
из труднообрабатываемых сталей и сплавов резами  
из твердых сплавов и быстрорежущей стали, м/мин**

Марка обрабатываемого материала	$\sigma_s$ , МПа	Скорость резания при обработке инструментом	
		из твердого сплава	из быстрорежущей стали
<i>Теплостойкие хромистые, хромоникелевые и хромомолибденовые стали перлитного, мартенситно-ферритного и мартенситного классов (группа I)</i>			
34ХН3М 34ХН3МФ 20Х3МВФ 30ХМА	600...800	250...300	50...70
	900 и более 650 »	120...150 200...250	20...30 60...70

*Коррозионно-стойкие хромистые и сложнелегированные стали ферритного, мартенситно-ферритного, мартенситного классов (группа II)*

12Х13	600 и более	170...220	35...50
25Х13Н2	700...1000	200...250	45...60
1Х12Н2ВМФ	900	180...240	30...45
20Х13	1100...1400	80...100	15...20
30Х13	1100...1400	80...100	15...20
40Х13	950 и более	120...150	25...35
14Х17Н2	1100	120...150	25...35
09Х16Н4Б	Св. 1000	130...160	28...38
	» 1300	70...90	15...20
23Х13НВМФЛ	» 850	140...180	28...42
	» 1550	60...75	13...18

*Коррозионно-стойкие, кислотостойкие, жаростойкие хромоникелевые стали аустенитного, аустенитно-ферритного и переходного аустенитно-мартенситного классов (группа III)*

12Х18Н10Т	Св. 550	120...150	25...35
20Х23Н18	» 550	140...180	30...40
12Х21Н5Т	» 700	100...130	20...30
09Х15Н8Ю	850...1100	110...130	22...32
08Х17Н5М3	Св. 1000	110...130	22...32
07Х16Н6	1100 и более	120...150	25...35

*Жаропрочные, жаростойкие, кислотостойкие, хромоникелевые, хромоникельмарганцовистые сложнелегированные стали аустенитного и аустенитно-ферритного классов (группа IV)*

45Х14Н14В2М	Св. 700	100...120	20...28
08Х15Н24В4ТР	» 700	70...90	15...25
07Х21Г7АН5	1000	80...100	15...25
12Х25Н16Г7АР	Св. 800	80...100	15...25
37Х12Н8Г8МФБ	» 900	50...60	12...20
10Х11Н20Т3Р	» 900	50...60	12...20
10Х11Н23Т3МР	» 900	50...60	12...20
15Х18Н12С4ТЮ	700...750	50...60	12...20

Окончание табл. 40

Марка обрабатываемого материала	$\sigma_s$ , МПа	Скорость резания при обработке инструментом	
		из твердого сплава	из быстрорежущей стали

*Жаропрочные деформируемые сплавы на железоникелевой и никелевой основах (группа V)*

ХН60ВТ	800	40...50	8...12
ХН77ТЮ	1000	40...50	8...12
ХН77ТЮР	1000	40...50	8...12
ХН35ВТЮ	Св. 950	22...28	8...12
ХН56ВМТЮ	900	20...25	6...10
ХН67ВМТЮ	Св. 1000	20...25	6...10
ХН75МВЮ	Св. 1000	20...25	6...10
ХН60ВТ	1150	18...20	5...10

*Окалиностойкие и жаропрочные литейные сплавы на никелевой и хромовой основах (группа VI)*

ВЖЗ6-Л2	800	18...20	—
АНВ-300	850	18...20	—
ЖС6К	1000	18...20	—
ЖСЗДК	750	18...20	—
ХН67ВМТЮЛ	750	18...20	—

*Сплавы на титановой основе (группа VII)*

ВТ1; ВТ1-1; ВТ1-2	450...700	100...150	30...40
ВТ3	950...1150	50...70	18...25
ВТ3-1	950...1500	50...70	18...25
ОТ4	700...900	70...100	25...35
ОТ4-1	600...750	70...100	25...35
ВТ5; ВТ5-1	700...950	70...100	25...35
ВТ6; ВТ6с	900...1000	60...80	20...30
ВТ14; ВТ15	1000	50...75	20...28

*Высокопрочные стали (группа VIII)*

28Х3СНМВФА	1600 и более	45...65	5...10
30Х2ГСН2ВМ	1600 и более	45...65	5...10
33Х3СНМВФА	1700	40...50	4...5
38Х3СНМВФА	1700	40...50	4...5
42Х2ГСНМ	1900	28...38	2...3
38Х5МСФА	1950	25...35	1...2
43Х3СНМВФА	2100	20...30	—



**41. Выбор марки твердого сплава инструмента для точения в зависимости от материала детали и сечения срезаемого слоя**

Группа материала	$\sigma_s$ , МПа	$t$ , мм	$S_0$ , мм/об	Марка твердого сплава
I	600...900	До 1	До 0,1	Т15К6; ВК60М; ВК3М Т15К6 Т5К10; ВК8
		» 10 Св. 10	» 0,50 Св. 0,50	
II	600...1200	До 1	До 0,15	ВК60М; Т15К6 Т15К6 ВК8; Т5К10
		» 10 Св. 10	» 0,50 Св. 0,50	
	1200...1700	До 1 » 3	До 0,15 » 0,30	ВК60М; ВК3М Т15К6 Т15К6; ВК6М
III	550...800	До 1	До 0,15	ВК3М; ВК60М; Т15К6 Т15К6 ВК6М* ВК8 ВК8В
		» 5 » 10 » 20 » 30	» 0,20 0,30...0,50 0,60...1,00 1,00...1,80	
IV	800...1100	До 1	До 0,10	ВК60М ВК8; Т5К10
		Св. 1	Св. 0,10	
V; VI	800...1000 (не содержат титана)	До 1	До 0,15	ВК60М; ВК3М Т15К6 ВК6М ВК8
		» 3 » 10 Св. 10	» 0,30 0,30...0,50 Св. 0,50	
VII	700...1000 (содержат титан)	До 1	До 0,15	ВК60М; ВК3М ВК6М ВК8
		» 10 Св. 10	» 0,50 Св. 0,50	
VIII	Св. 750	До 1	До 0,10	ВК60М; ВК3М ВК6М* ВК8
		» 6 Св. 6	» 0,50 Св. 0,50	
VIII	600...1500	До 1	До 0,15	ВК3М; ВК60М ВК6М; ВК4* ВК8
		» 5 Св. 5	» 0,40 Св. 0,40	
		До 1 » 5	До 0,10 » 0,30	
VIII	1400...1600	До 1	До 0,10	ВК60М; ВК3М Т15К6; ВК6М
		» 5	» 0,30	
VIII	1600...1800	До 1	До 0,10	ВК60М; ВК3М Т15К6; ВК6М
		» 3	» 0,30	
VIII	1800...2200	До 1	До 0,10	ВК60М; ЦМ332 ВК3М; ВК6М
		» 2	» 0,30	

\* При наличии окалина применять резцы с пластинами из сплава ВК8.

**42. Подачи при точении на токарных и карусельных станках заготовок из сталей I, II и III групп с  $\sigma_s < 900$  МПа, мм/об**

Сечение державки резца, мм	Диаметр обрабатываемой поверхности, мм	Глубина резания, мм			
		2	5	10	Св. 10
20 × 16; 25 × 20	20	0,20...0,30	—	—	—
	50	0,30...0,40	0,20...0,30	—	—
	100	0,40...0,50	0,30...0,40	0,20...0,30	—
	200	0,50...0,60	0,40...0,50	0,30...0,40	—
32 × 25	100	0,50...0,60	0,40...0,50	0,30...0,40	—
	200	0,55...0,65	0,50...0,60	0,40...0,50	—
	500	0,65...0,75	0,60...0,80	0,50...0,70	0,50...0,60
40 × 40; 50 × 40	100	0,60...0,80	0,50...0,60	0,40...0,50	—
	200	1,00...1,20	0,80...1,00	0,60...0,80	0,50...0,60
	500	1,20...1,50	1,00...1,20	0,80...1,00	0,60...0,80
60 × 40	Св. 500	—	1,5...2,0	1,5...1,8	1,20...1,50

**43. Подачи при точении на токарных и карусельных станках заготовок из сплавов V и VI групп, а также из сталей IV и II групп с  $\sigma_s = 900...1300$  МПа, мм/об**

Сечение державки резца, мм	Диаметр обрабатываемой поверхности, мм	Глубина резания, мм		
		2	5	10
20 × 16; 25 × 20	20	0,15...0,25	—	—
	50	0,20...0,30	0,15...0,25	—
	100	0,30...0,40	0,20...0,30	—
	200	0,35...0,45	0,30...0,40	—
32 × 25	100	0,30...0,40	0,20...0,30	—
	200	0,40...0,50	0,30...0,40	—
	500	0,50...0,60	0,40...0,50	—
40 × 40; 50 × 40	100	0,40...0,50	0,30...0,40	—
	200	0,50...0,60	0,40...0,50	0,30...0,40
	500	0,60...0,70	0,50...0,60	0,40...0,50
60 × 40	Св. 500	0,60...0,80	0,50...0,60	0,40...0,50

**44. Подачи при точении на токарных и карусельных станках заготовок из титановых сплавов, мм/об**

Сечение державки резца, мм	Диаметр обрабатываемой поверхности, мм	Глубина резания, мм			
		2	5	10	Св. 10
20 × 16; 25 × 20	20	0,20...0,30	—	—	—
	50	0,30...0,40	0,20...0,30	—	—
	100	0,40...0,50	0,30...0,40	0,20...0,30	—
	200	0,50...0,60	0,40...0,50	0,30...0,40	—
32 × 25	100	0,50...0,60	0,40...0,50	0,40...0,50	—
	200	0,60...0,70	0,50...0,60	0,50...0,60	—
	500	0,70...0,80	0,60...0,70	0,50...0,60	0,50...0,60
40 × 40	100	0,60...0,80	0,50...0,60	0,40...0,50	—
	200	0,80...1,00	0,60...0,80	0,50...0,70	0,50...0,60
50 × 40	500	1,00...1,20	0,80...1,00	0,60...0,80	0,60...0,80
60 × 40	Св. 500	—	1,00...1,20	0,80...1,00	0,60...0,80

## 45. Подачи при отрезке резцами с пластинами из сплавов ВК6М и ВК8, мм/об

Сечение державки резца, мм	Размеры головки резца, мм		Группа материала заготовки	
	Ширина	Длина	I; II; III; IV; V; VI и VII ( $\sigma_s < 900$ МПа)	II; IV; V; VI; VII ( $\sigma_s > 900$ МПа)
16×10	3	20	0,06...0,08	0,04...0,06
25×16	5	35	0,10...0,12	0,08...0,10
32×20	6	40		
40×25	8	60	0,08...0,10	0,06...0,08
		100		
60×25	10	200	0,08...0,12	0,06...0,10
80×25	12	400		
120×25	16	500		

Примечание. Для быстрорежущих резцов значения подач умножать на 1,5.

## 46. Подача при прорезке канавок резцами с пластинами из сплавов ВК6М и ВК8, мм/об

Сечение державки резца, мм	Размеры головки резца, мм		Группа материала заготовки	
	Ширина	Длина	I; II; III; IV; VII ( $\sigma_s < 900$ МПа)	II; IV; V; VI; VII ( $\sigma_s > 900$ МПа)
16×10	3	15	0,07...0,10	0,05...0,07
25×16	5	20	0,10...0,14	0,08...0,12
	10	25		
32×20	5	25	0,15...0,20	0,10...0,15
	8	30		
	12	40		

Примечание. Для быстрорежущих резцов значения подач следует умножить на 1,5.

## 47. Подачи при точении и растачивании труднообрабатываемых материалов в зависимости от шероховатости поверхности, мм/об

Параметр шероховатости поверхности, мкм	Радиус при вершине резца, мм	Скорость резания, м/мин				
		3	5	10	15	20 и более
$Rz = 20...40$	До 0,5	0,16				
$Rz = 10...20$		—			0,08	
$Ra = 1,25...2,5$		—				0,04
$Rz = 10...20$	0,5	0,16		0,20		
$Ra = 1,25...2,5$		—	0,1		0,12	
$Ra = 0,63...1,25$		—			0,10	
$Ra = 1,25...2,5$		1,0	0,14	0,28		—
	—			0,12		
$Ra = 0,63...1,25$	2,0	0,28				
		0,20			0,25	

## 48. Режимы резания при точении пластмасс быстрорежущими резцами

Тип пластмассы	Глубина резания, мм	Скорость резания, м/мин, при подаче, мм/об						
		0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50
Сополимер; стирол; СНП-2	0,5	156	189	217	241	262	300	333
	1,0	146	177	202	225	245	280	311
	1,5	140	170	194	216	235	269	299
	2,0	136	165	189	210	228	261	290
	2,5	133	161	184	205	223	256	284
	3,0	—	158	181	201	219	251	279
	4,0	—	—	176	196	213	244	271
	5,0	—	—	172	191	208	238	265
Полипропилен (нестабилизи- рованный)	0,5	39	46	53	58	63	71	78
	1,0	34	41	46	51	55	62	69
	1,5	32	38	43	48	51	58	64
	2,0	30	36	41	45	49	55	61
	2,5	29	35	39	43	47	53	58
	3,0	—	34	38	42	45	51	56
	4,0	—	—	36	40	43	49	54
	5,0	—	—	35	38	41	47	52
Полипропилен (стабилизированный сажей — 7%)	0,5	102	95	90	85	83	79	77
	1,0	97	90	86	82	79	76	72
	1,5	94	87	83	79	77	73	70
	2,0	92	85	81	78	75	71	68
	2,5	90	83	79	76	74	70	67
	3,0	—	82	78	75	73	69	66
	4,0	—	—	77	73	71	67	65
	5,0	—	—	75	72	70	66	64
Поликапролактам марки Б	0,5	79	102	120	138	155	184	210
	1,0	73	94	111	128	144	171	195
	1,5	70	90	107	122	137	163	186
	2,0	68	87	104	119	133	158	181
	2,5	66	85	101	116	129	154	177
	3,0	—	83	99	113	126	151	174
	4,0	—	—	96	110	123	147	168
	5,0	—	—	94	107	120	144	164
Виинпласт	0,5	281	239	213	195	181	162	148
	1,0	252	215	192	175	163	145	133
	1,5	238	202	180	164	154	137	125
	2,0	228	194	176	158	147	131	120
	2,5	220	188	167	153	142	127	116
	3,0	—	182	163	149	138	123	112
	4,0	—	—	156	143	132	118	108
	5,0	—	—	151	138	128	114	104

Окончание табл. 48

Тип пластмассы	Глубина резания, мм	Скорость резания, м/мин, при подаче, мм/об						
		0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50
Полиэтилен	0,5	361	307	274	251	233	207	190
	1,0	291	248	220	202	187	167	153
	1,5	257	218	194	178	161	148	135
	2,0	235	200	178	163	151	135	123
	2,5	219	187	167	153	142	126	115
	3,0	—	176	157	144	133	119	109
	4,0	—	—	143	131	122	109	99
	5,0	—	—	134	122	114	101	93

Примечания: 1. Скорость резания приведена для стойкости  $T = 60$  мин.

2. При работе с охлаждением приведенные значения следует умножить на коэффициент  $K_0$ , равный для сополимера – 1,09; полипропилена (нестабилизованного) – 1,32; полипропилена (стабилизованного) – 1,09; поликапролактама – 1,41; винилпласта – 1,32; полиэтилена – 1,09.

3. Скорость резания следует умножить на коэффициент  $K_\phi$ , равный при точении резцами: проходными ( $\phi = 45^\circ$ ) – 1; проходными ( $\phi = 60^\circ$ ) – 0,9; подрезными ( $\phi = 90^\circ$ ) – 0,8; отрезными – 0,7; расточными – 0,9.

#### 49. Режимы резания при точении пластмасс твердосплавными резцами

Тип пластмассы	Глубина резания, мм	Скорость резания, м/мин, при подаче, мм/об					
		0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4
Оргстекло	0,5	110	93	82	74		
	1	87	74	65	58		
	1,5	78	65	57	51		
	2	70	59	51	46	—	—
	2,5	66	55	48	43		
	3	61	51	45	41		
Фторопласт	0,5	251	196	160	135		
	1	197	153	125	106		
	1,5	169	131	108	91		
	2	153	119	97	82	—	—
	2,5	141	110	90	76		
	3	132	103	84	67		
Гетинакс	0,5	540		375		300	261
	1	375		256		205	174
	1,5	300		205		166	140
	2	261	—	174	—	141	120
	2,5	227		156		124	104
	3	205		139		112	100
4	177		122		98	83	

Окончание табл. 49

Тип пластмассы	Глубина резания, мм	Скорость резания, м/мин, при подаче, мм/об					
		0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4
Стеклотекстолит	0,5	284		264		212	173
	1	281		262		199	164
	1,5	278		259		191	158
	2	278	—	259	—	188	154
	2,5	275		257		183	150
	3	275		257		181	148
	4	270		252		176	144
Стеклопластик	0,5	62		48		41	37
	1	48		37		32	29
	1,5	41		32		27	25
	2	37	—	28	—	24	22
	2,5	34		26		22	20
	3	31		24		21	19
	4	28		22		19	17
Феиопласт	0,5	466		362		310	279
	1	389		300		257	232
	1,5	351		269		232	209
	2	326	—	250	—	215	193
	2,5	307		237		203	183
	3	293		226		194	174
	4	273		210		179	160
Волокнит	0,5	190		167		152	145
	1	168		147		134	127
	1,5	155		136		124	118
	2	148	—	129	—	118	113
	2,5	142		124		113	108
	3	138		120		110	104
	4	131		115		105	99

## ОБРАБОТКА НА ТОКАРНО-РЕВОЛЬВЕРНЫХ СТАНКАХ

Токарно-револьверные станки (технические характеристики см. в гл. 5) предназначены для обработки заготовок резцами, осевыми инструментами, фасонными, комбинированными и специальными инструментами; резьбонарезными (метчиками, плашками, резьбонарезными головками), иакатками специальными и др.

В условиях серийного производства применяют стандартизованные вспомогательные и режущие инструменты, универсальные приспособления для крепления заготовки, а также выполняют позлементную и совмещенную обработку нескольких поверхностей. При крупно-

рийном производстве используют стандартизованные и специальные вспомогательные и режущие инструменты, проводят совмещенную обработку нескольких поверхностей различными инструментами (фасонными и комбинированными).

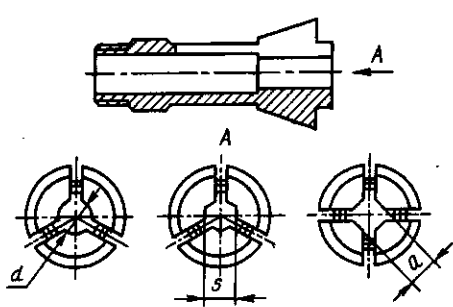
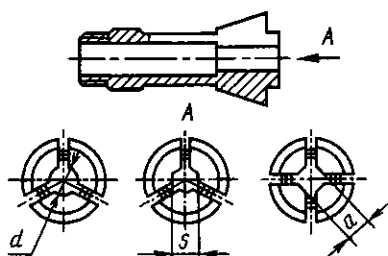
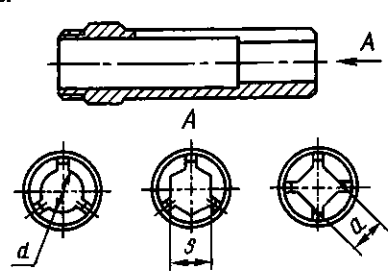
В табл. 50 приведены точность и шероховатость поверхностей деталей, получаемых на токарно-револьверных станках с различным расположением оси револьверной головки. В качестве заготовок используют прутки различного сечения и штучные заготовки. Для крепления и подачи прутков применяют зажимные и подающие цапги (табл. 51). Оснастка, используемая для крепления инструментов, приведена в табл. 52.

**50. Точность диаметров и шероховатость поверхностей при обработке на токарно-револьверных станках**

Ось токарно-револьверной головки	Схема работы суппортов	Квалитет	Параметр шероховатости, мкм	
			$Rz$	$Ra$
Горизонтальная		$\frac{9; 10}{7; 8}$	$\frac{20}{10}$	$\frac{2.5}{0,63}$
Вертикальная		$\frac{10; 11}{8; 9}$	$\frac{10...40}{10}$	$\frac{=}{2,5}$
Наклонная		$\frac{9; 10}{7; 8}$	$\frac{20}{10}$	$\frac{2.5}{0,63}$

**Примечание.** В числителе дроби приведены соответственно квалитет или шероховатость поверхности, получаемые при полустивовой обработке, в знаменателе – при чистовой обработке.

**51. Цанги зажимные (ГОСТ 2876–80 (в ред. 1992 г.)) и подающие (ГОСТ 2877–80 (в ред. 1992 г.)), используемые в механизмах зажима прутковых одношпindelных токарно-револьверных и токарных многошпindelных автоматов и токарно-револьверных станках**

Цанга	Основные размеры под пруток, мм		
	<i>d</i>	<i>S</i>	<i>a</i>
Зажимная исполнения 1 	3...12 12...18 18...25 25...36 25...40 40...50 50...60	3...10 10...15 15...21 21...30 21...34 34...42 42...56	3...8 8...12 12...17 17...25 17...28 28...34 34...45
Зажимная исполнения 2 	3...12 12...18 18...20 20...25 25...32 32...40 40...50 50...65 65...80 80...100 100...125	3...10 10...15 15...17 17...21 21...27 27...34 34...42 42...56 56...70 70...85 85...95	3...8 8...12 12...14 14...17 17...22 22...28 28...34 34...45 45...56 56...70 70...85
Подающая 	3...12 12...18 18...20 20...25 25...32 32...40 40...50 50...65 65...80 80...100 100...125	3...10 10...15 15...17 17...21 21...27 27...34 34...42 42...56 56...70 70...85 85...95	3...8 8...12 12...14 14...17 17...22 22...28 28...34 34...45 45...56 56...70 70...85

**52. Оснастка к токарно-револьверным станкам для крепления инструмента**

Оснастка	ГОСТ
<i>Качающиеся оправки</i>	
Для насадных разверток	20506–75 (в ред. 1981 г.)
Для разверток с коническим хвостовиком	20507–75 (в ред. 1981 г.)
Для разверток с цилиндрическим хвостовиком	20508–75 (в ред. 1981 г.)



Окончание табл. 52

Оснастка	ГОСТ
<i>Патроны</i>	
Поводковые для качающихся оправок	20505-75 (в ред. 1981 г.)
Для плашек (втулки к патронам по ГОСТ 21942-76 (в ред. 1983 г.))	21941-76 (в ред. 1983 г.)
Для метчиков (втулки к патронам по ГОСТ 22628-77 (в ред. 1982 г.))	22627-77 (в ред. 1982 г.)
Выдвижные для плашек	
(втулки к патронам по ГОСТ 22630-77 (в ред. 1982 г.))	22629-77 (в ред. 1982 г.)
Цанговые	17200-71 (в ред. 1990 г.)
<i>Втулки</i>	
Переходные с буртиком и отверстием, с конусом Морзе	17178-71 (в ред. 1981 г.)
<i>Зажимные втулки</i>	
Цилиндрические	17179-71 (в ред. 1981 г.)
С эксцентрично расположенным цилиндрическим отверстием	17180-71 (в ред. 1981 г.)
С наклонно расположенным цилиндрическим отверстием	17181-71 (в ред. 1981 г.)
С эксцентрично расположенным цилиндрическим отверстием для двоящихся гнезд	17182-71 (в ред. 1981 г.)
Со смещенным цилиндрическим отверстием для двоящихся гнезд	17183-71 (в ред. 1981 г.)
С буртиком и коцентрично расположенным цилиндрическим отверстием	17184-71 (в ред. 1981 г.)
С буртиком и эксцентрично расположенным цилиндрическим отверстием	17185-71 (в ред. 1981 г.)
С буртиком и наклонно расположенным цилиндрическим отверстием	17186-71 (в ред. 1981 г.)
<i>Державки</i>	
Для прямого крепления резцов и зажимных втулок	18074-72 (в ред. 1981 г.)
Для косоого крепления резцов и зажимных втулок	18075-72 (в ред. 1981 г.)
Расточные для прямого крепления призматического резца стержнем	19019-73 (в ред. 1990 г.)
Расточные для косоого крепления призматического резца стержнем	19020-73 (в ред. 1990 г.)
Расточные для косоого крепления резца винтами	19021-73 (в ред. 1990 г.)
Для прямого крепления резца	19022-73 (в ред. 1990 г.)
Для косоого крепления резца	19023-73 (в ред. 1990 г.)
Для косоого крепления резца регулируемые	19171-73 (в ред. 1991 г.)
С цилиндрическим хвостовиком для прямого крепления резца	19913-74 (в ред. 1991 г.)
С цилиндрическим хвостовиком для косоого крепления резца	19914-74 (в ред. 1991 г.)
С цилиндрическим хвостовиком для отрезных пластинчатых резцов	19915-74 (в ред. 1991 г.)
Люнетные для тапгеициальных резцов	21200-75 (в ред. 1982 г.)
Люнетные для косоого крепления резцов	21201-75 (в ред. 1982 г.)

Токарно-револьверные станки широко применяют для групповой обработки заготовок (особенно в мелкосерийном производстве). При разработке технологического процесса необходимо учесть следующие рекомендации:

не следует совмещать черновую обработку с чистовой, так как это отражается на работе инструмента для чистовой обработки;

обработку отверстий проводить инструментом, установленным в револьверной головке; проходные, подрезные и фасонные резцы крепить в резцедержателе поперечного суппорта;

совмещать переходы, т.е. проводить обработку одновременно режущими инструментами, установленными в поперечном суппорте

и револьверной головке или использовать комбинированные инструменты;

для уменьшения увода сверла сверлить отверстия после предварительной подрезки торца и центрования;

отверстия по 12-му квалитету с допускаемыми биениями в пределах допуска на изготовление обрабатывать простыми и комбинированными зенкерами; при более жестком допуске биений расточку следует проводить резцами с поддерживающей скалкой, входящей в специальную втулку, укрепленную на передней бабке станка, или применять расточные скалки или зенкеры с передней направляющей; для уменьшения разбивки отверстий крепить развертки в плавающих патронах;

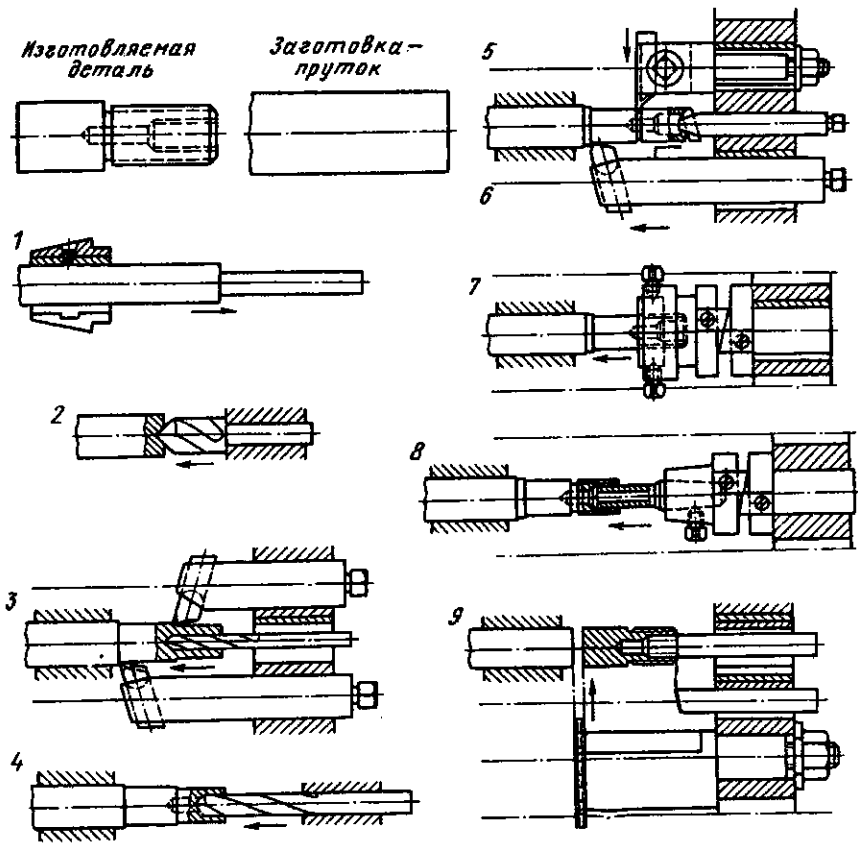


Рис. 1. Схема обработки заготовки на токарно-револьверном станке с горизонтальной осью вращения револьверной головки:

- 1 — подача прутка до упора; 2 — центрование; 3 — обтачивание двух поверхностей и сверление;
- 4 — рассверливание отверстия; 5 — протачивание канавки; 6 — снятие фаски и чистовое точение;
- 7 — нарезание наружной резьбы; 8 — нарезание внутренней резьбы; 9 — отрезка

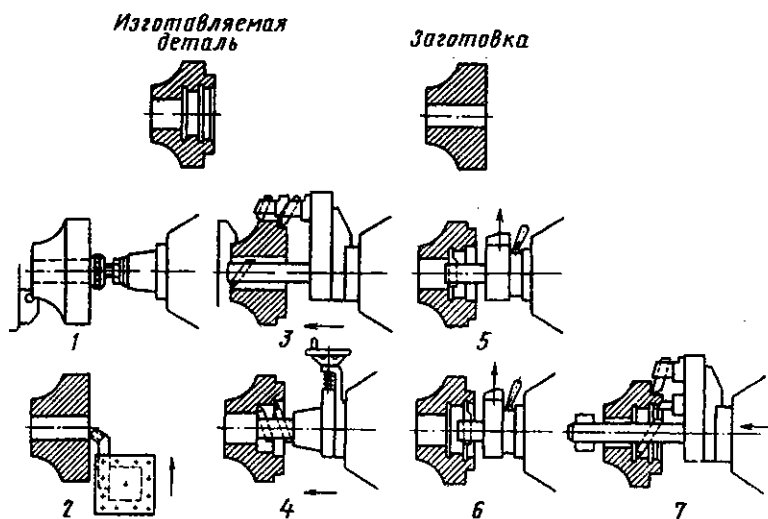


Рис. 2. Схема обработки детали на токарно-револьверном станке с вертикальной осью вращения револьверной головки:

1 – закрепление заготовки; 2 – подрезание торца; 3 – обтачивание двух наружных диаметров и внутреннего; 4 – растачивание двух внутренних поверхностей; 5 – протачивание первой канавки; 6 – протачивание второй канавки; 7 – чистовая обработка внутренней поверхности, снятие фаски и обтачивание ступеньки

при использовании в револьверной головке только части гнезд в свободные гнезда устанавливать дублирующие комплекты инструментов, что позволит несколько раз повторить цикл обработки за полный оборот головки;

применять патроны для быстросменного крепления инструмента, если в револьверной головке не устанавливаются все необходимые для обработки инструменты;

для сокращения времени на подналадку производить регулировку инструмента вне станка, использовать легкосменные блоки инструментов или производить смену револьверной головки в сборе с инструментами;

для получения качественной резьбы в начальный момент резьбонарезания обеспечить принудительную подачу револьверной головки с инструментами, близкую к шагу резьбы, а затем отключить ее;

резьбу 6-й степени точности нарезают нерегулируемыми инструментами (метчиками, плашками), резьбу 4-й степени точности регулируемыми инструментами (резьбонарезными и накатными головками).

Обработка на токарно-револьверных станках ведется по методу автоматического получения размеров, т.е. станок предварительно настраивают на изготовление определенной

детали или группы деталей (при групповой обработке). Настройку ведут с использованием продольных и поперечных упоров. При выполнении каждого перехода длину рабочих ходов инструментов определяют по схеме обработки детали (рис. 1 и 2).

## ОБРАБОТКА НА ТОКАРНЫХ АВТОМАТАХ

**Общие сведения.** На предприятиях широко используют универсальные токарные автоматы: одношпиндельные фасонно-отрезные, одношпиндельные продольного точения, токарно-револьверные и горизонтальные многошпиндельные. Автоматы предназначены для обработки деталей типа тел вращения, требующих применения большого числа разнообразных режущих инструментов. В основном автоматы предназначены для обработки деталей при крупносерийном и массовом производстве, однако в последнее время широко внедряется групповой метод обработки, который позволяет применять токарные автоматы в серийном и мелкосерийном производстве для обработки небольших партий заготовок. Точность и параметры шероховатости поверхностей, обработанных на автоматах, приведены в табл. 53.

### 53. Точность и параметры шероховатости поверхностей, обработанных на токарных автоматах

Способ обработки	Квалитет					Параметр шероховатости поверхности, мкм						
						Rz				Ra		
	6; 7	8; 9	10; 11	12; 13	14	160	80	40	20	2,5	1,25	0,63
Точение и растачивание:												
чериовое				×	×	×	×	×				
чистовое		×	×					×	×	×		
тоикое	×	×								×	×	×
Сверление			×	×			×	×	×			
Зенкерование		×	×					×	×	×		
Развертывание	×	×								×	×	

Основным техническим документом, по которому проводится наладка автоматов, является карта наладки. В этой карте указаны вид заготовки, модель автомата, приведены схема технологического процесса обработки детали и расчетные данные для построения кулачков.

*Общие требования к расчету наладки автоматов.* При выборе заготовки (прутка) необходимо стремиться к тому, чтобы припуск на обработку был минимальным и форма заготовки соответствовала форме детали. В качестве заготовки для автоматов используют холоднотянутые калиброванные прутки различного сечения: круглого, квадратного, шестигранного. Размеры прутков даны в таблицах сортамента прутков. В случае применения штучных заготовок автомат оснащают грузочным устройством.

Автомат выбирают с учетом диаметра заготовки, допускаемой длины обработки, частоты вращения шпинделя, числа необходимых операций и производительности процесса, требуемой точности обработки и шероховатости поверхности.

Технологический процесс обработки детали представляют в виде последовательного ряда эскизов переходов обработки. На эскизах инструмент изображают в момент окончания рабочего хода. При этом указывают размеры, определяющие положение инструментов или их державок относительно шпинделя и других державок, и длину хода инструмента.

При разработке технологического процесса обработки на автоматах рекомендуется соблюдать правила:

1. Максимально совмещать рабочие и вспомогательные переходы. Стремиться к совмещению работы поперечных суппортов с работой осевого инструмента. Для совмещения рабочих переходов рекомендуется использовать комбинированные инструменты. Не следует совмещать черновые и чистовые переходы, за исключением тех случаев, когда совмещение не приводит к снижению качества обработки.

2. Не допускать резкого уменьшения жесткости обрабатываемой заготовки, а глубокие канавки протачивать после окончания всей обработки.

3. Точные фасонные поверхности обрабатывать двумя резцами: чериовым и чистовым. При этом повышается качество обрабатываемой поверхности и стойкость резцов.

4. Для повышения качества обрабатываемой поверхности и точности обработки в конце рабочего хода для суппорта с инструментом следует предусмотреть выдержку без подачи на время двух-пяти оборотов шпинделя.

5. Отверстия малого диаметра сверлить после предварительного центрования, во время которого можно снимать внутреннюю фаску.

6. При обработке ступенчатых отверстий с жесткими допусками концентричности сначала следует сверлить отверстие малого диаметра. Если концентричность отверстий не оговаривается, то для сокращения времени обработки и лучшего отвода стружки рекомендуется сначала сверлить отверстие большего диаметра, а затем меньшего диаметра.

7. При сверлении глубоких отверстий необходимо предусмотреть периодический вывод сверла: первый вывод – при достижении глубины отверстия  $l = (3...4) d$ , второй – при  $l = (2...2,5) d$ ; третий – при  $l = (1...1,5) d$ .

8. Для обеспечения строгой соосности наружные и внутренние поверхности, а также ступенчатые детали следует обрабатывать на одной позиции.

9. Чтобы получить высокую точность обработки, малую шероховатость поверхности и не допустить образования спиральной риски, отводить резец с рабочей подачей.

10. Наиболее длительные переходы разбивать на два или три перехода, если это не ухудшает качества обработки. В противном случае на последнем переходе необходимо предусмотреть окончательный общий проход одним инструментом.

11. Ход продольного резца или ширину фасонного резца следует увеличивать на ширину отрезного резца.

12. В качестве упора допускается использовать центровочные сверла, однако при этом снижается точность установки прутка и необходима подрезка торца.

13. Исключать возможность столкновения державок и режущих инструментов, особенно при совмещенных переходах.

14. При обработке тонкостенных деталей в первую очередь необходимо обрабатывать отверстия, так как после сверления и развертывания увеличивается наружный диаметр деталей.

15. Чтобы избежать выдавливания металла и заусенцев, фаски и канавки обрабатывать до нарезания резьбы или после ее накатывания.

Подъем  $h$  профиля кулачка определяют по формуле  $h = li$ , где  $i$  – передаточное отношение плеч рычагов, связывающих кулачок и исполнительный механизм (суппорт).

Скорость резания и подачу выбирают в зависимости от материала обрабатываемой детали, режущего инструмента, глубины резания, стойкости режущего инструмента, шероховатости обрабатываемой поверхности и других параметров по таблицам, приведенным в справочниках или в паспорте автомата. Ориентировочные значения  $v$  и  $S_0$  приведены в табл. 54 и 55, поправочные коэффициенты к табличным значениям подач – в табл. 56.

**54. Ориентировочные значения скоростей резания, рекомендуемые при работе инструментом из быстрорежущей стали, м/мин**

Обрабатываемый материал	Продольное, фасонное обтачивание и отрезка	Сверление	Зенкерование	Развертывание	Накатывание	Нарезание резьбы	
						метчиком	плашкой
Сталь:							
20	45...55	30...40	25...30	8...12	30...35	3...6	1,8...3,5
35	35...45	25...35	20...25	6...10	25...32	2,5...5,5	1,8...3,5
45	25...35	20...25	18...20	6...8	20...30	2...5	1,5...3
A12	50...70	30...50	20...35	10...15	35...45	3...8	2,8...5
У7 – У13А	18...25	15...20	10...15	5...8	15...20	1,5...3,5	1...2,5
хромистая и коррозионно-стойкая	15...25	10...15	8...12	4...6	15...20	1,5...3	0,8...2
Латуни	60...80	50...100	45...80	20...40	70...100	4,5...20	4...18
Бронза	35...60	30...40	25...35	15...30	35...50	4...12	3,5...10
Алюминий	150...200	90...180	60...80	20...50	90...120	6...20	5,5...20

**Примечание.** При использовании твердосплавного инструмента скорость резания можно увеличить в 1,5...2 раза.

55. Ориентировочные значения подач, рекомендуемые при работе инструментами из быстрорежущей стали, мм/об

Диаметр обрабатываемой поверхности, мм	Обработка	Глубина резания, мм	Диаметр сверла, мм	Глубина сверления, мм	Получаемый параметр шероховатости поверхности $R_z$ , мкм					
					6,3...10		10...20		40	
					Подача при материале заготовки					
		Сталь 45	Латунь	Сталь 45	Латунь	Сталь 45	Латунь			
2	Продольное обтачивание	0,8	-	-	0,01	0,03	0,015	0,05	0,02	0,08
		0,4	-	-	0,012	0,038	0,018	0,06	0,025	0,010
	Врезание и отрезка	-	-	-	0,003	0,019	0,005	0,03	0,006	0,05
		-	1,0 1,0 1,5 1,5	3 6 5 10	0,0055 0,0035 0,007 0,005	0,025 0,016 0,030 0,019	0,008 0,005 0,010 0,007	0,04 0,025 0,045 0,031	0,011 0,007 0,0013 0,0009	0,065 0,04 0,08 0,05
	Продольное обтачивание	1,5 1,0 0,5	-	-	0,01 0,012 0,014	0,05 0,063 0,075	0,014 0,017 0,020	0,08 0,10 0,12	0,018 0,022 0,026	0,12 0,15 0,18
		Врезание и отрезка	-	-	-	0,004	0,03	0,005	0,048	0,008
	4		Продольное обтачивание	2,0 2,0	5 20	0,014 0,007	0,045 0,022	0,020 0,010	0,07 0,034	0,026 0,013
		2,5 2,5		5 25	0,016 0,008	0,060 0,030	0,022 0,011	0,095 0,047	0,028 0,014	0,15 0,075
		Сверление	3,0 3,0	6 30	0,018 0,009	0,070 0,035	0,025 0,012	0,110 0,055	0,032 0,016	0,180 0,090
			3,5 3,5	7 35	0,02 0,01	0,070 0,035	0,028 0,014	0,110 0,055	0,036 0,018	0,180 0,090

Диаметр обрабатываемой поверхности, мм	Обработка	Глубина резания, мм	Диаметр сверла, мм	Глубина сверления, мм	Получаемый параметр шероховатости поверхности Rz, мкм						
					6,3...10		10...20		40		
					Сталь 45	Латунь	Сталь 45	Латунь	Сталь 45	Латунь	
7	Продольное обтачивание	2,5	—	—	0,016	0,08	0,022	0,12	0,028	0,18	
		2,0	—	—	0,018	0,087	0,025	0,13	0,032	0,19	
		1,5	—	—	0,020	0,093	0,028	0,14	0,036	0,20	
		1,0	—	—	0,022	0,100	0,031	0,15	0,040	0,21	
		0,5	—	—	0,025	0,107	0,034	0,16	0,044	0,22	
	Сверление	Врезание и отрезка	—	—	—	0,006	0,044	0,009	0,066	0,012	0,010
		—	4	8	0,022	0,070	0,030	0,110	0,039	0,160	
		—	4	40	0,010	0,035	0,013	0,055	0,017	0,080	
		—	4,5	10	0,023	0,070	0,032	0,110	0,042	0,160	
		—	4,5	40	0,010	0,035	0,013	0,055	0,017	0,080	
10	Продольное обтачивание	—	5	10	0,024	0,075	0,034	0,115	0,044	0,170	
		—	5	40	0,010	0,035	0,013	0,055	0,017	0,080	
		—	5,5	10	0,025	0,075	0,035	0,115	0,045	0,170	
		—	5,5	40	0,010	0,032	0,013	0,052	0,017	0,070	
		—	6	10	0,026	0,080	0,036	0,120	0,046	0,170	
	Сверление	Врезание и отрезка	—	—	—	0,01	0,030	0,013	0,050	0,017	0,065
		—	3,5	0,020	0,082	0,027	0,12	0,035	0,165		
		—	3,0	0,022	0,090	0,030	0,13	0,038	0,17		
		—	2,5	0,024	0,096	0,032	0,14	0,042	0,19		
		—	1,5	0,027	0,103	0,037	0,15	0,048	0,205		
Сверление	Врезание и отрезка	—	—	—	0,030	0,112	0,040	0,16	0,052	0,22	
	—	—	—	0,007	0,047	0,010	0,068	0,013	0,010		
	—	6	10	0,026	0,080	0,036	0,12	0,046	0,17		
	—	6	40	0,010	0,030	0,013	0,05	0,017	0,067		
	—	6,5	10	0,026	0,080	0,036	0,12	0,046	0,17		

Диаметр обрабатываемой поверхности, мм	Обработка	Глубина резания, мм	Диаметр сверла, мм	Глубина сверления, мм	Получаемый параметр шероховатости поверхности Rz, мкм								
					6,3...10		10...20		40				
					Подача при материале заготовки								
Сталь 45		Латунь		Сталь 45		Латунь		Сталь 45		Латунь			
12	Продольное обтачивание	5,0	-	-	0,023	0,085	0,032	0,12	0,042	0,15	0,042	0,15	
		4,0	-	-	0,025	0,093	0,035	0,13	0,046	0,16	0,046	0,16	
		3,0	-	-	0,028	0,10	0,039	0,14	0,051	0,18	0,051	0,18	
		2,0	-	-	0,031	0,107	0,043	0,15	0,056	0,20	0,056	0,20	
		1,0	-	-	0,034	0,115	0,046	0,16	0,06	0,22	0,06	0,22	
	Врезание и отрезка	-	-	-	-	0,008	0,05	0,011	0,07	0,015	0,10	0,015	0,10
		Сверление	7	7	10	0,026	0,08	0,037	0,12	0,048	0,17	0,048	0,17
			7	7	40	0,010	0,03	0,016	0,05	0,021	0,065	0,021	0,065
			8	8	10	0,027	0,08	0,038	0,12	0,049	0,17	0,049	0,17
			8	8	40	0,011	0,03	0,017	0,05	0,021	0,066	0,021	0,066
16	Врезание и отрезка	9	9	10	0,028	0,08	0,039	0,12	0,05	0,17	0,05	0,17	
		9	9	30	0,012	0,035	0,017	0,052	0,0215	0,07	0,0215	0,07	
		10	10	10	0,029	0,08	0,04	0,12	0,052	0,17	0,052	0,17	
		10	10	30	0,013	0,035	0,0175	0,052	0,022	0,07	0,022	0,07	
		6,0	-	-	0,016	0,065	0,029	0,090	0,030	0,12	0,030	0,12	
16	Продольное обтачивание	4,0	-	-	0,026	0,095	0,037	0,135	0,048	0,165	0,048	0,165	
		2,0	-	-	0,033	0,108	0,045	0,160	0,059	0,21	0,059	0,21	
		-	-	-	0,009	0,055	0,0125	0,075	0,016	0,105	0,016	0,105	
		Сверление	7	7	10	0,027	0,085	0,038	0,125	0,050	0,175	0,050	0,175
			7	7	40	0,010	0,035	0,016	0,055	0,021	0,07	0,021	0,07
16	Сверление	9	9	10	0,028	0,09	0,040	0,125	0,052	0,175	0,052	0,175	
		9	9	40	0,011	0,030	0,0165	0,050	0,020	0,065	0,020	0,065	



Диаметр обрабатываемой поверхности, мм	Обработка	Глубина резания, мм	Диаметр сверла, мм	Глубина сверления, мм	Получаемый параметр шероховатости поверхности Rz, мкм					
					6,3...10		10...20		40	
					Поддача при материале заготовки					
		Сталь 45	Легуны	Сталь 45	Легуны	Сталь 45	Легуны			
20 и 25	Продольное обтачивание	8,0	—	—	0,014	0,006	0,0125	0,075	0,016	0,105
		6,0	—	—	0,019	0,071	0,0265	0,085	0,026	0,11
		4,0	—	—	0,025	0,093	0,035	0,140	0,046	0,13
		2,0	—	—	0,033	0,107	0,045	0,165	0,059	0,17
		—	—	—	0,009	0,006	0,0125	0,075	0,016	0,215
		—	—	—	0,027	0,095	0,038	0,125	0,05	0,175
		—	—	—	0,010	0,035	0,016	0,055	0,021	0,07
		—	—	—	0,028	0,095	0,04	0,130	0,052	0,180
		—	—	—	0,011	0,030	0,0165	0,055	0,020	0,065
		—	—	—	0,030	0,095	0,040	0,130	0,055	0,180
Сверление	Врезание и отрезка	—	—	—	0,013	0,035	0,017	0,055	0,025	0,070
		—	—	—	0,027	0,08	0,038	0,12	0,049	0,17
		—	—	—	0,011	0,032	0,0165	0,053	0,021	0,067
		—	—	—	0,028	0,08	0,039	0,12	0,050	0,17
		—	—	—	0,012	0,032	0,017	0,053	0,0215	0,07
		—	—	—	0,029	0,08	0,040	0,120	0,052	0,17
		—	—	—	0,0125	0,032	0,0175	0,053	0,022	0,07
		—	—	—	0,027	0,08	0,038	0,12	0,049	0,17
		—	—	—	0,011	0,032	0,0165	0,053	0,021	0,07
		—	—	—	0,027	0,080	0,038	0,12	0,049	0,17
		—	—	—	0,011	0,033	0,0165	0,055	0,021	0,07
		—	—	—	0,028	0,080	0,039	0,12	0,05	0,17
		—	—	—	0,012	0,033	0,017	0,055	0,0215	0,07
		—	—	—	0,029	0,08	0,04	0,12	0,052	0,17
		—	—	—	0,0125	0,033	0,0175	0,055	0,022	0,07
		—	—	—	0,027	0,08	0,038	0,12	0,049	0,17
		—	—	—	0,012	0,033	0,017	0,055	0,0215	0,07
		—	—	—	0,029	0,08	0,04	0,12	0,052	0,17
		—	—	—	0,0125	0,033	0,0175	0,055	0,022	0,07
		—	—	—	0,027	0,08	0,038	0,12	0,049	0,17

**56. Поправочные коэффициенты к табличным значениям подач (см. табл. 55) в зависимости от обрабатываемого материала**

Обрабатываемый материал	Коэффициент $K$
Сталь:	
с $\sigma_v = 400 \dots 500$ МПа	1,2...1,5
повышенной обрабатываемости резанием:	
A12	1,5...2,0
A20	1,3...1,8
серебрянка (У7А, У10, А75)	0,8
коррозионно-стойкая	0,6...0,8
Алюминий и его сплавы	0,9...1,0
Бронза	0,5

**Примечание.** При изготовлении деталей из приведенных в таблице марок сталей на поправочные коэффициенты умножаются численные значения подач, выбранные по табл. 55 при обработке стали; при изготовлении деталей из алюминия, его сплавов и бронзы – численные значения подач, необходимых для обработки латуни.

Частоту вращения шпинделя автомата рассчитывают по формуле  $n_{\text{шп}} = 1000v / (\pi d)$ . Если частота вращения шпинделя в течение всей обработки постоянна, то из всех полученных значений  $v$  и  $n_{\text{шп}}$  выбирают минимальные. Значение  $n_{\text{шп}}$  корректируют в соответствии с паспортными данными и принимают ближайшее меньшее. Если частота вращения шпинделя на отдельных переходах или позициях изменяется, то  $n_{\text{шп}}$  выбирают для каждого перехода или позиции. На каждом переходе или позиции обработку проводят при постоянной частоте вращения шпинделя.

Подачу  $S_0$  выбирают для каждого инструмента. При многоинструментальной наладке подача общая и наименьшая для всех инструментов.

Рабочие числа оборотов  $n$  рассчитывают по формуле  $n = l / S_0 + \Delta n$ . Значение  $n$  показывает, сколько оборотов делает шпиндель автомата за время выполнения соответствующего рабочего хода, где  $\Delta n$  – добавочное число оборотов шпинделя (после прекращения подачи), необходимое для зачистки поверхности;  $\Delta n = 2 \dots 5$  оборотов. В том случае, когда часть рабочих переходов выполняют при других частотах вращения шпинделя,  $n$  для них определяют по формуле  $n = Kl / S_0$ , где  $K$  – коэффициент приведения, равный  $n_{\text{шп}} / n'_{\text{шп}}$ .

Остальные этапы расчета наладки разобраны для каждого вида автомата отдельно с учетом специфики каждого из них.

**Обработка на одношпиндельных фасонно-отрезных автоматах.** Одношпиндельные фасонно-отрезные автоматы предназначены для обработки простых деталей диаметром до 40 мм и длиной до 100 мм.

Используются автоматы марок: 11Ф16, 11Ф25, 11Ф40, 1Б023, 1Б032. На этих автоматах и пруток (провода), и шпиндельная бабка, в процессе обработки, продольного перемещения не имеют. Обработка ведется методом врезания фасонными, отрезными и другими резцами, установленными в резцовой вращающейся головке (поперечных суппортах). Некоторые станки имеют устройство для продольного точения, а также агрегатные головки для сверления, нарезания резьбы, фрезерования.

**Обработка на одношпиндельных токарных автоматах продольного точения.** Одношпиндельные автоматы продольного точения (рис. 3) применяют при крупносерийном и массовом производстве деталей из холодно-тянутых калиброванных прутков диаметром 3...25 мм. Автоматы предназначены для обработки методом продольного точения заготовок с большим отношением длины к диаметру. При сочетании продольной подачи прутка и поперечной подачи инструментов, расположенных на поперечных суппортах, можно обрабатывать детали сложной конфигурации. Продольная подача осуществляется перемещением шпиндельной бабки или пиноли шпинделя. В результате согласованных движений прутка и резцов получают цилиндрические, конусные,

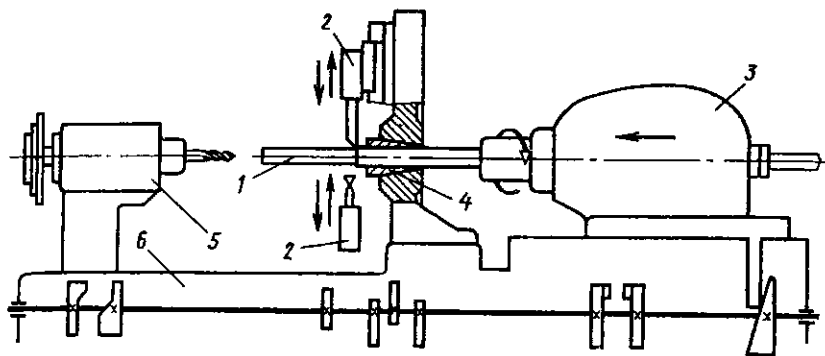


Рис. 3. Схема работы автомата продольного точения:

1 - пруток; 2 - суппорты с инструментами; 3 - шпиндельная бабка; 4 - люнет; 5 - дополнительное приспособление; 6 - распределительный вал с кулачками

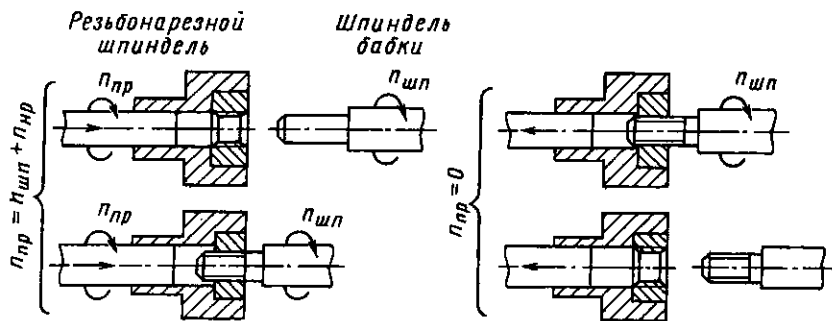


Рис. 4. Схема нарезания резьбы методом обгона

сферические поверхности. Применяя только один резец, можно получить детали разнообразной формы. Перед резцами устанавливают люнет, воспринимающий усилия резания и обеспечивающий высокую точность обработки.

С помощью дополнительных приспособлений на автоматах выполняют сверление, нарезание резьбы, прорезку шлицев. Рабочие и вспомогательные ходы инструментов осуществляются от кулачков, расположенных на распределительном валу. На автоматах различных классов точности получают детали, точность которых соответствует квалитетам: 9-му по диаметру и 11-му по длине - автоматы обычной точности; 7, 8-му по диаметру и 9-му по длине - автоматы высокой точности; 6-му по диаметру и 7-му по длине - автоматы особо высокой точности. Параметр шероховатости обрабатываемых поверхностей  $Ra = 0,63 \dots 1,25$  мкм.

Используют автоматы продольного точения моделей: 1103А, 1Б10В, 1М06В, 1М06ДА, 1М06А, 1М10В, 1М10ДВ, 1М10РВ, 1М10ЕВ, 1М10А, 1М10РА, 1М10ДА, 11Т16В, 11Т16РВ, 11Т16УВ, 11Т16А, 1Д25В, 1Д25П и др. Они снабжены устройствами для переноски деталей, ловителями готовых деталей, магазинами для загрузки прутка.

В автоматах продольного точения пруток имеет левое вращение (по часовой стрелке). Это значит, что невращающейся плашкой можно нарезать только левую резьбу. Правую резьбу нарезают методом обгона. При этом шпиндель резбонарезного устройства должен вращаться в ту же сторону, что и пруток, но с некоторым обгоном, равным скорости нарезания резьбы (рис. 4). После нарезания резьбы шпиндель резбонарезного устройства тормозится - происходит автоматическое свинчива-

ние плашки (метчика). Аналогично при невращающемся шпинделе сверлильного приспособления работу можно проводить левыми сверлами. Если необходимо использовать правые сверла, то шпинделю приспособления сообщают вращение с частотой, превышающей частоту вращения автомата с прутком.

Для крепления режущих инструментов на автоматах продольного точения имеются лишь специальные державки для фасонных резцов и центровочных сверл, устанавливаемые на поперечных суппортах.

*Порядок расчета наладки автоматов продольного точения:*

1. Выбор заготовки (табл. 57).
2. Выбор марки автомата (см. гл. 5 раздела II).
3. Разработка технологического процесса обработки детали (схема обработки), выбор инструментов и приспособлений, составление схемы расположения инструментов (рис. 5).
4. Определение длины  $l$  рабочих и вспомогательных перемещений инструментов и детали. В общем виде  $l = l' + \Delta$ , где  $l'$  — длина обработки, мм;  $\Delta$  — гарантированный зазор между обрабатываемой поверхностью и инструментом, мм.
5. Определение высоты подъема или спада кривой на кулачке:  $h = li$ , где  $i$  — передаточное отношение плеч рычагов, связывающих кулачок и исполнительный орган.
6. Выбор режима резания (см. "Общие требования к расчету наладки автоматов", с. 339).
7. Определенные числа  $n$  оборотов шпинделя, необходимых для выполнения технологического перехода, и  $\Sigma n$ :  $n = l / S_0 + \Delta n$ , где  $l$  — длина хода инструмента или шпиндельной бабки с заготовкой (прутком), мм;  $S_0$  — рабочая

подача, мм/об;  $\Delta n$  — добавочное число оборотов шпинделя (пауза), необходимое для зачистки поверхности заготовки;  $\Delta n = 2 - 5$  оборотов.

При определении  $\Sigma n$  учитывают несовмещенные (неперекрываемые) числа оборотов шпинделя.

8. Определение ориентировочной производительности (шт/мин) автомата

$$Q = (0,7 \dots 0,8) n_{\text{штп}} / \Sigma n.$$

9. Определение углов  $\beta$  поворота кулачка за период выполнения вспомогательных ходов и  $\Sigma \beta$ , °.

Углы вспомогательных ходов  $\beta$  кулачка зависят от производительности  $Q$  автомата, высоты подъема или спада кривой на кулачке. Данные для определения  $\beta$  имеются в паспорте автомата. При малой его производительности углы  $\beta$  выбирают минимальными, чтобы уменьшить время вспомогательных ходов. При большой производительности принимают большие значения  $\beta$  для снижения инерционных нагрузок в механизмах автомата. Кулачки зажима и разжима прутка постоянны при обработке любых деталей на данном автомате. При определении  $\Sigma \beta$  суммируют углы для всех несовмещенных вспомогательных ходов.

10. Определение углов  $\Sigma \alpha = 360^\circ - \Sigma \beta$  для всех несовмещенных рабочих ходов и угла  $\alpha = n \Sigma \alpha / \Sigma n$  для каждого рабочего хода. Для построения кулачков необходимо иайти  $\alpha$  для всех рабочих ходов, как несовмещенных, так и совмещенных.

11. Определение окончательного времени на изготовление детали и штучной производительности автомата.

**57. Основные (наибольшие) размеры устанавливаемых прутка и реза для токарно-продольных автоматов, мм**

Наибольший (номинальный) диаметр устанавливаемого прутка	Наибольшая длина подачи прутка для автоматов с кулачками		Наибольшие размеры сечения
	дисковым	колокольным	
4	50	—	6 × 6
6	60	—	8 × 8
10	70	100	10 × 10
16	80	140	12 × 12
25	100	180	16 × 16

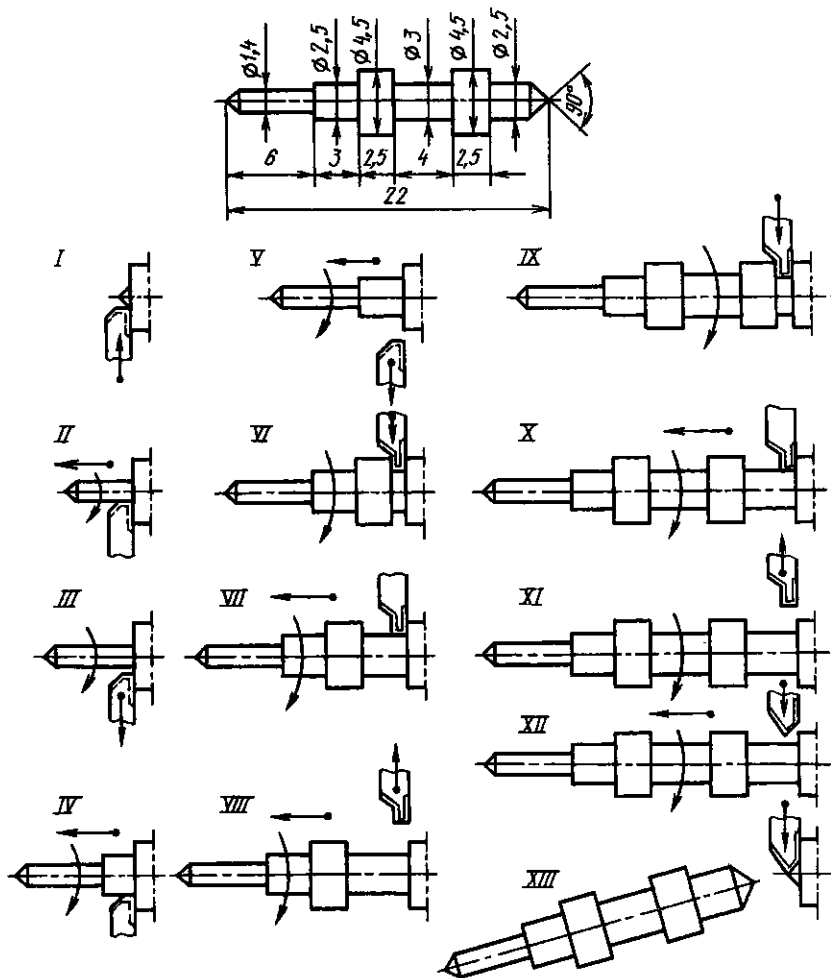


Рис. 5. Схема обработки заготовки на автомате продольного точения:

- I – подвод проходного резца; II – обтачивание поверхности диаметром 1,4 мм;  
 III – отвод проходного резца к поверхности диаметром 2,5 мм; IV – обтачивание поверхности диаметром 2,5 мм;  
 V – отвод проходного резца; VI – протачивание канавки; VII – обтачивание поверхности диаметром 3 мм;  
 VIII – отвод канавочного резца; IX – протачивание канавки; X – обтачивание поверхности диаметром 2,5 мм на длине 4 мм; XI – отвод канавочного резца; XII – подвод отрезного резца;  
 XIII – стрезка с одновременным получением конических поверхностей

По формуле  $n_u = 2\pi \Sigma n / \Sigma \alpha$  вычисляют число оборотов, необходимое для получения детали. Тогда время (с) полной обработки детали  $T = n_u \cdot 60 / n_{шп}$ . Производительность (шт/мин) автомата  $Q_u = 60 / T$ . Так как полную обработку заготовок выполняют за один оборот распределительного вала, то  $n_{рас.в} = Q_u$ . По таблице, приведенной в паспорте автомата, для полученных  $n_{шп}$  и  $n_{рас.в}$  находят ближайшее  $n_{рас.в}$ , на которое можно настроить автомат.

В соответствии с табличным значением  $n_{рас.в}$  уточняют значения  $n_u$  и  $T$ . Данные расчетов записывают в карту наладки автомата. По данным карты наладки может быть построена циклограмма работы автомата.

12. Построение кулачков автоматов продольного точения на основе данных карты наладки и размеров заготовок кулачков (рис. 6), приведенных в паспорте автомата и частично в табл. 58.

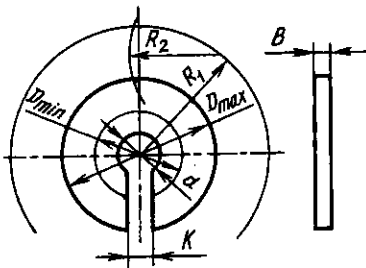


Рис. 6. Заготовка кулачка для автомата продольного точения

Все кулачки на распределительном валу, как и шпиндель автомата, имеют левое вращение (по часовой стрелке), поэтому значения углов, соответствующие отдельным переходам, откладывают от нуля в направлении против часовой стрелки.

Построение кулачков следует начинать с максимального или минимального радиуса кулачка. Например, на кулачке шпиндельной бабки максимальная точка соответствует моменту отвода шпиндельной бабки для захвата прутка, для кулачка балансира – моменту

58. Размеры для построения кулачков автоматов продольного точения (см. рис. 6), мм

Кулачок	Модель автомата	$D_{max}$	$D_{min}$	$R_1$	$R_2$	$B$	$K$	$d$	$i$		
Шпиндельной бабки	1103; 1103А	140	40	116,5	107	8	-	20	(1:1)...(1:3)		
	1Б10П; 1Б10В; 1Б10А	160		128	120						
	1Б10П	60									
	1М10В	180	40	128,7	124,5			10	-	22	(1:1)...(1:0,83)
	1П12				121,5					(1:1)...(1:3)	
	1А12В; 1А12П				25					(1:1)...(1:0,83)	
	1П16; 1П16А	210	50	151,9	150			10	-	24	(1:1)...(1:3)
	1Д25В	260	60	184,3	174,5					35	
Балансира	1103; 1103А	110	68	120,6	112	8	-	18,2	1:3		
	1Б10П; 1Б10В; 1Б10А; 1А10П	120	60	134	126			17			
	1М10В	125						17,1			
	1П12	120	54	132,2	135			17,2	1:2,7		
	1А12В; 1А12П			132	135	17					
	1П16; 1П16А	160	70	153,8	147,5	10	-	20	24	1:2,5	
	1Д25В	200	60	190,7	180			32	35	1:3	
Вертикальных суппортов	1103; 1103А	100	50	112,8	103	8	-	26,2	30	1:1 для суппорта номер 3; 1:2 для суппортов номеров 4 и 5	
	1Б10П; 1Б10В; 1Б10А; 1А10П	120	70	125	116			24			
	1М10В							24,2			
	1П12; 1А12В; 1А12П	120	60	123,5				24			
	1П16; 1П16А	140	60	147,7	143	10	-	28	32	1:1,15	
	1Д25В	200	70	190,7	180			46	50	(1:1)...(1:3)	

окончания отрезки. Начальный  $R_n$  и конечный  $R_k$  радиусы кулачков определяют для каждого перехода. Кулачки профилируют в пределах между минимальным и максимальным радиусами. Для дисковых кулачков участки рабочих ходов очерчивают по архимедовой спирали, для кулачков барабанного типа – по прямой. Участки вспомогательных ходов очерчивают по шаблонам, прилагаемым к паспорту станка, или по прямой.

**Обработка на токарно-револьверных автоматах.** Токарно-револьверные автоматы предназначены для изготовления деталей сложной формы по 8 – 11-му квалитетам с параметрами шероховатости  $Ra = 0,63 \dots 2,5$  мкм.

Используют токарно-револьверные автоматы моделей 1Е110П, 1Ц110П, 1Л116П, 1Е125П, 1Е140П, 1Е165П, изготавливают детали диаметрами 10...63 мм, длиной до 160 мм.

Принцип работы токарно-револьверного автомата показан на рис. 7. Заготовку-пруток размещают в шпиндельной бабке, которая установлена на станине жестко и в продольном направлении не перемещается. Шпиндель автомата имеет вращения: левое (по часовой стрелке) – при обтачивании и правое (против часовой стрелки) – при нарезании резьбы невращающимся резьбонарезным инструментом, устанавливаемым в револьверной головке. В автомате предусмотрены два или три (реже четыре) поперечных суппорта, совершающих поперечную подачу  $S_n$ , и один продольный револьверный суппорт, на котором установлена шестипозиционная револьверная головка с инструментами для обработки с продольной подачей  $S_{пр}$ . В одном из гнезд револьверной головки устанавливают упор, благодаря которому пруток подается на необходимую длину, равную сумме длины обрабатываемой заготовки и ширины отрезного резца.

Большинство рабочих операций выполняют при левом вращении шпинделя; нарезания резьбы, развертывание и некоторые другие операции – при более медленном правом вращении. Переключение направлений вращения шпинделя осуществляется автоматически.

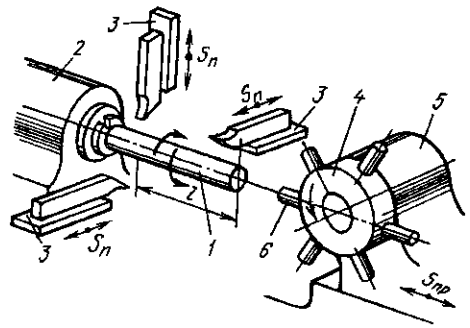


Рис. 7. Схема работы токарно-револьверного автомата:

1 – пруток; 2 – шпиндельная бабка; 3 – поперечные суппорты; 4 – револьверная головка; 5 – продольный (револьверный) суппорт; 6 – инструменты

Всеми действиями автомата управляют с помощью кулачков, установленных на распределительном валу. Готовую деталь получают за один оборот распределительного вала. После отрезки детали и отхода отрезного резца пруток быстро подается до упора, затем проводится последовательная обработка заготовки режущими инструментами, установленными в рабочую позицию, при периодическом повороте револьверной головки и инструментами поперечных суппортов. В автоматах скорости вращения шпинделя переключаются автоматически.

*Порядок расчета наладки токарно-револьверных автоматов:*

1. Выбор заготовки.
2. Выбор автомата (см. гл. 5 раздела II).

3. Разработка технологического процесса обработки (составление схемы обработки). Схема обработки показана на рис. 8. В соответствии с этой схемой и по табл. 59 выбирают необходимые инструменты и порядок их расположения на суппортах. Соответствующие державки и приспособления подбирают по паспорту станка и ГОСТам (табл. 60).

### 59. Распределение инструментов по суппортам токарно-револьверного автомата

Суппорты	Резцы для вариантов		
	I	II	III
Передние	Обдирочный Фасонный	Отрезной	Отрезной
Задний	Чистовой Фасонный	Отрезной	–
Верхний	Отрезной	Фасонный	Фасонный

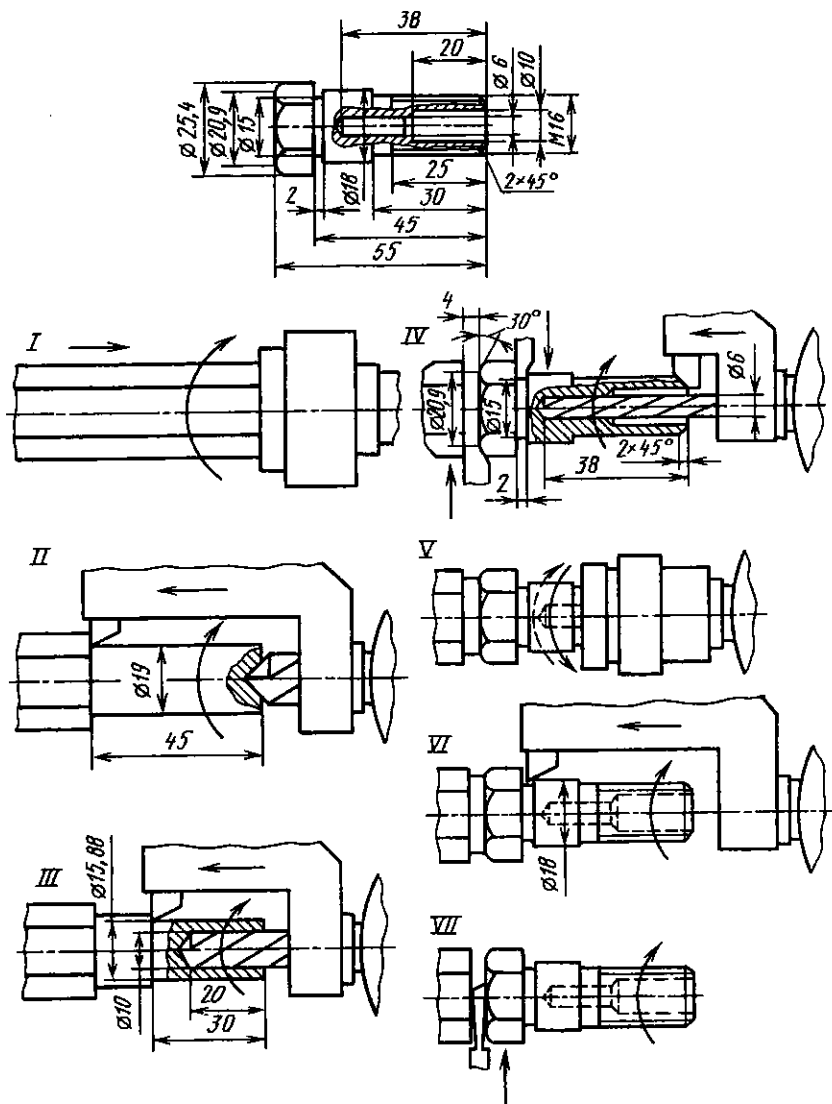


Рис. 8. Схема обработки детали на токарно-револьверном автомате:

- I – подача прутка до упора; II – обтачивание поверхности диаметром 19 мм и центрование;
- III – обтачивание поверхности диаметром 15,88 мм и сверление отверстия диаметром 10 мм;
- IV – сверление отверстия диаметром 6 мм, снятие фаски и проточка канавки; V – нарезание резьбы;
- VI – чистовое обтачивание поверхности диаметром 18 мм; VII – отрезка

4. Определение длины  $l$  хода инструментов.

5. Расчет расстояния  $L$  между торцом шпинделя и револьверной головкой.

Расстояния  $L$  находят для всех позиций головки. Оно складывается (рис. 9) из длины  $l_b$

выступающей части прутка, расстояния  $a$  от торца прутка до державки (оправки), длины  $u$  выступающей части державки и расстояния  $f$  от державки до револьверной головки, т.е.

$$L = l_b + a + u + f,$$



## 60. Оснастка к токарно-револьверным автоматам

Оснастка	ГОСТ
Державки сменные для резцов:	
прямого крепления	18071-72 (в ред. 1981 г.)
тангенциальных	18072-72 (в ред. 1981 г.)
Державки:	
для тангенциальных резцов и зажимных втулок	18073-72 (в ред. 1981 г.)
для сменных резцовых державок и зажимных втулок	18076-72 (в ред. 1981 г.)
Державки люнетные для резцов:	
тангенциальных	21187-75 (в ред. 1982 г.)
прямого крепления	21188-75 (в ред. 1982 г.)
Люнеты к державкам:	
призматические	21189-75 (в ред. 1982 г.)
роликовые	21190-75 (в ред. 1982 г.)
Патроны выдвижные для плашек	22629-77 (в ред. 1982 г.)
Втулки для плашек к патронам	22630-77 (в ред. 1982 г.)

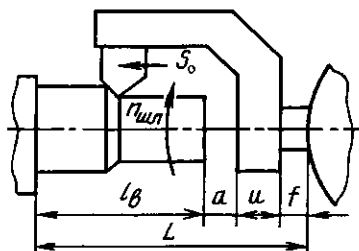


Рис. 9. Схема для расчета расстояния от торца шпинделя до револьверной головки

где  $l_b = l + \Sigma\Delta + b + c$ ; здесь  $l$  — длина детали, мм;  $\Sigma\Delta$  — сумма припусков на подрезание торца, мм;  $b$  — ширина отрезного резца, мм;  $c$  — длина выступающей части прутка после отрезки, обычно  $c = 5 \dots 8$  мм

Расстояние  $a$  от торца прутка до державки зависит от длины выбранного инструмента и размеров державки. Расстояние  $f$ , примерно равное 2 мм, используют для исправления возможных ошибок при наладке автомата.

6. Выбор режима резания  $v$ ,  $S_0$  и  $n$  (см. табл. 54 и 55). Резьбу нарезают на токарно-револьверных автоматах двумя методами. При первом методе (для большинства револьверных автоматов) шпиндель получает реверс на правое вращение для нарезания резьбы с частотой вращения

$$n_{\text{шп}} = 1000 v_{\text{нр}} / (\pi d),$$

где  $v_{\text{нр}}$  — скорость резания, м/мин;  $d$  — диаметр нарезаемой резьбы, мм.

Резьбонарезной инструмент, установленный на револьверной головке, неподвижен. Свинчивание резьбонарезного инструмента осуществляется при обратном вращении шпинделя.

Нарезание резьбы вторым методом также ведут при неподвижном резьбонарезном инструменте. Для нарезания резьбы уменьшают частоту вращения шпинделя. Свинчивание резьбонарезного инструмента достигается вращением в ту же сторону, что и вращение шпинделя, но с частотой вращения, большей в 2...5 раз.

При сверлении отверстий малого диаметра применяют быстросверильное приспособление, позволяющее получить заданную скорость резания благодаря вращению сверла навстречу вращению обрабатываемой заготовки. Частоту вращения шпинделя быстросверильного приспособления определяют по формуле

$$n_{\text{шп.св}} = n_{\text{св}} - n_{\text{шп}},$$

где  $n_{\text{св}}$  — частота вращения при сверлении;  $n_{\text{шп}}$  — частота вращения шпинделя автомата.

Подача сверла

$$S_{св} = S_0 n_{св} / n_{шп},$$

где  $S_0$  – подача при сверлении, мм/об, определяется по таблице режимов резания (см. табл. 55).

7. Определение числа оборотов шпинделя  $n$  за время выполнения каждого перехода и суммы несовмещенных оборотов (см. "Общие требования к расчету наладки автоматов", с. 339).

8. Определение (ориентировочное) времени  $T$  на изготовление одной детали.

Цикл работы токарно-револьверного автомата

$$T = (t_p + t_b) / (1 - \beta_b / 100),$$

где  $t_p$  и  $t_b$  – время (с) выполнения соответственно рабочих и вспомогательных ходов;  $\beta_b$  – сотые доли кулачка, приходящиеся на выполнение вспомогательных ходов.

Время на вспомогательные ходы  $t_b$  включает время на разжим, подачу и зажим прутка, переключения револьверной головки и реверс шпинделя. Их значения постоянны для автомата и выбираются по паспорту автомата. Доли кулачка  $\beta_b$  на вспомогательные ходы технолог задает при наладке. Подводы и отводы инструментов, паузы и другие ходы задаются в сотых долях рабочей поверхности кулачка: 2...3 сотые доли – на повод или отвод инструмента, 0,5...2 – на паузу.

9. Определение числа сотых долей кулачка  $\beta$  на вспомогательные ходы и  $\Sigma\beta$  несомкнутых углов в сотых долях на выполнение всех вспомогательных ходов.

Для расчетного значения  $T$ , по паспортным данным автомата находят число сотых долей кулачка, приходящихся на подачу, зажим прутка и переключение револьверной головки. Если расчетное  $T$  не совпадает с табличным значением, то следует принимать ближайшее табличное значение. Число сотых долей кулачка, приходящихся на поворот револьверной головки, может быть увеличено на число сотых долей, приходящихся на ролик рычага револьверного суппорта, если есть перепад радиусов кулачка.

10. Определение суммарного числа сотых долей  $\Sigma\alpha$ , приходящихся на рабочие ходы, и числа сотых долей  $\alpha$  на каждый рабочий переход:

$$\Sigma\alpha = 100 - \Sigma\beta.$$

Полученное значение  $\Sigma\alpha$  разбивают на углы  $\alpha$  пропорционально числу оборотов  $n$  на переход;

$$\alpha = n \Sigma\alpha / \Sigma n.$$

Полученные расчетные данные заносят в карту наладки автомата.

11. Определение окончательного времени на изготовление детали и производительности автомата.

По формуле  $n_{ц} = \Sigma n 100 / \Sigma\alpha$  определяют число оборотов шпинделя за время полной обработки заготовки, т.е. за время цикла.

Время обработки заготовки уточняют по формуле  $T = n_{ц} 60 / n_{шп}$ , окончательно принимают ближайшее табличное значение времени  $T$  и для этого времени подбирают смежные зубчатые колеса гитары настройки частоты вращения распределительного вала.

Фактическая производительность автомата

$$Q_{ф} = \eta 3600 / T,$$

где  $\eta$  – коэффициент использования станка. Чем сложнее станок и обрабатываемая деталь, тем меньше  $\eta$ ; обычно  $\eta = 0,8...0,95$ .

12. Построение кулачков токарно-револьверных автоматов. Размеры кулачков приводятся в паспортах автоматов. Построение кулачка револьверного суппорта начинают с перехода, для которого расстояние от торца шпинделя до револьверной головки является минимальным  $L_{min}$ , чему соответствует максимальное значение радиуса кулачка  $R_{max}$ , т.е. радиус заготовки кулачка.

Радиус кулачка, соответствующий концу любого перехода,

$$R_k = R_{max} - (L - L_{min}),$$

где  $L$  – расстояние от торца шпинделя до револьверной головки.

Радиус кулачка, соответствующий началу перехода,

$$R_n = R_k - l,$$

где  $l$  – длина рабочего хода на конкретном переходе, мм.

Участки на кулачках, соответствующие рабочим ходам, вычерчивают по архимедовой спирали, соответствующие вспомогательным ходам – по шаблонам (конфигурация указана в паспорте станка).

**Обработка на горизонтальных многошпиндельных автоматах.** Используют многошпиндельные автоматы моделей: 1Б216, 1Б225, 1В225, 1Б240, 1Б265, 1Б290 и др. На многошпиндельных автоматах можно выполнять операции обработки со снятием стружки (чериовое и чистовое, обычное и фасонное

обтачивание, подрезку, отрезку, снятие фасок, протачивание канавок, центрование, сверление обычное и с использованием быстросверлильного приспособления, зенкерование, нарезание наружных и внутренних резьб, фрезерование шлицев и лысок) и без снятия стружки (накатку рифлений и резьбы, клеймение, раскатку отверстий, обкатку цилиндрических и сферических поверхностей).

Детали на многошпиндельных автоматах изготавливают последовательно на четырех, шести или восьми позициях в зависимости от числа шпинделей. Для обработки применяют большое число разнообразных режущих инструментов, устанавливаемых на продольном и поперечных суппортах с индивидуальными приводами подачи. На продольном суппорте можно устанавливать державки с инструментами с независимыми подачей и частотой вращения. Это расширяет технологические возможности многошпиндельных автоматов и позволяет выбирать оптимальные скорости резания для таких операций, как сверление, зенкерование, развертывание и нарезание резьбы.

*Особенности обработки на многошпиндельных станках:*

1. Продолжительность обработки на всех позициях автомата должна быть одинаковой.
2. Частота вращения шпинделей для каждой наладки одинакова и не изменяется в процессе изготовления детали.
3. Направление вращения рабочих шпинделей правое (против часовой стрелки) и не изменяется в процессе обработки.

4. Правую резьбу нарезают вращающимся инструментом с отставанием от вращения прутка, а свинчивание – обгоном. Нарезание левой резьбы осуществляют методом обгона. Для нарезания наружной резьбы широко применяют самораскрывающиеся резьбонарезные головки, позволяющие исключить операцию свинчивания.

5. На первых позициях выполняют черновые операции, а на последних – чистовые операции.

6. Наиболее длительные операции целесообразно выполнять последовательно на двух позициях или более.

7. При точной обработке поверхностей последний чистовой переход необходимо выполнять одним инструментом.

8. Окончательную обработку ступенчатых и фасонных поверхностей проводят на одной позиции, чтобы исключить несопадение осей различных позиций при повороте шпиндельного блока.

9. На горизонтальных многошпиндельных автоматах привод продольного и поперечного суппортов осуществляется от постоянных кулачков.

*Порядок расчета наладки горизонтальных многошпиндельных автоматов:*

1. Выбор заготовки (табл. 61) из калиброванных прутков, круглого, квадратного и шестигранного сечений из стали и цветных металлов.
2. Выбор модели автомата (см. гл. 5 раздела II).
3. Разработка технологического процесса (схемы) обработки деталей.

**61. Основные размеры прутков, обрабатываемых на токарных многошпиндельных прутковых горизонтальных автоматах, и параметры этих автоматов, мм**

Наибольший диаметр обрабатываемого прутка	16	20	25	32	40	50	65	80	100	125	
Число шпинделей	6	8	6	8	6	8	6	4	8	6	4
Наибольшая подача прутка, не менее	100	125		160		200		250			
Наибольший диаметр отверстия под канту	42	50	60	70	82	96	115	136	165	200	

**Примечание.** Автоматы для обработки прутков диаметрами 100 и 125 мм и шестিশпиндельные автоматы для обработки прутков диаметрами 32 и 50 мм используют при обработке труб и заготовок из цветных металлов.

В зависимости от сложности изготовления деталей на многошпиндельных автоматах можно применить несколько вариантов обработки. Последовательную обработку с одинаковой индексацией (рис. 10) используют в том случае, если деталь имеет сложную конфигурацию; все операции равномерно распределяют по всем позициям.

Последовательно-параллельную обработку с одинарной индексацией (рис. 11) двух одинаковых или разных деталей проводят параллельно: на одной половине позиций обрабатывают одну заготовку, на другой половине другую.

При последовательно-параллельной обработке с двойной индексацией (рис. 12) изготовление двух разных и одинаковых деталей проводят также параллельно, но шпиндельный блок поворачивают одновременно на две позиции.

4. Определение длины  $l$  хода инструментов. Ход продольного суппорта определяют по наибольшему пути одного из его инструментов, а для инструментов длина обработки определяется при установке их на суппорте.

5. Выбор режима резания ( $v$  и  $S_0$ ) и определение частоты вращения шпинделя  $n_{шп}$ .

Скорости резания  $v$  определяют для всех переходов по таблицам режимов резания, затем по формуле  $n_{шп} = 1000 v / (\pi d)$  подсчитывают число оборотов шпинделя для каждого перехода. Из всех полученных значений выбирают минимальное, корректируют его с учетом паспортных данных и считают расчетным  $n_{шп}$  для всех шпинделей.

Для операций, выполняемых при использовании приспособлений с индивидуальным приводом, определяют коэффициенты приве-

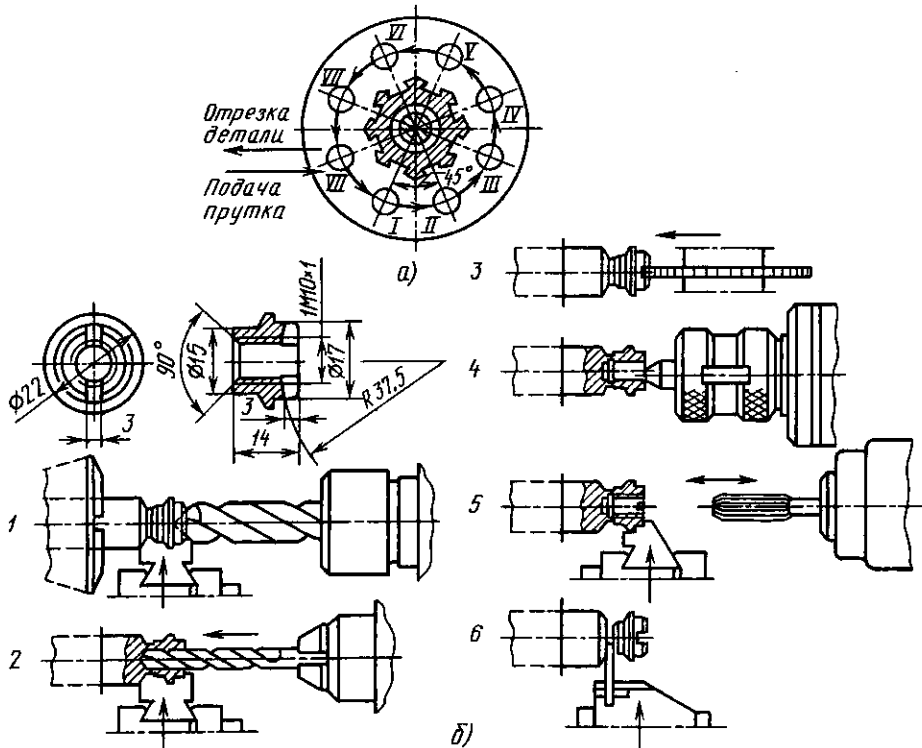


Рис. 10. Схема последовательной обработки на многошпиндельном автомате с одинарной индексацией: а – схема рабочих позиций автомата; б – схема обработки для шестишпиндельного автомата; 1 – центрование и черновая фасонная обработка; 2 – чистовая фасонная обработка и сверление; 3 – фрезерование шлица; 4 – прорезка резьбовой канавки; 5 – окончательная фасонная обработка поверхности диаметром 17 мм и нарезание резьбы; 6 – отрезка

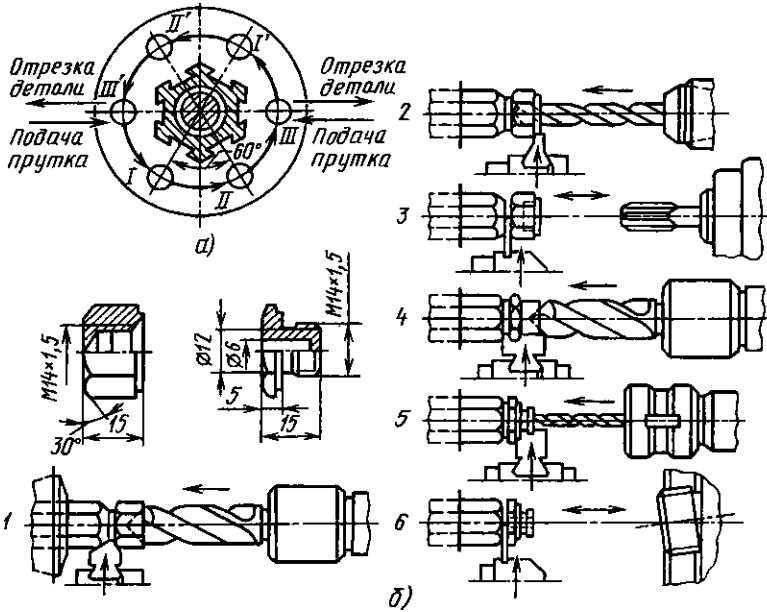


Рис. 11. Схема последовательно-параллельной обработки на многошпиндельном автомате с одинарной индексацией:

а – схема рабочих позиций автомата; б – схема обработки детали на многошпиндельном автомате:

1 – центровка и прорезка канавки; 2 – сверление и obtачивание уступа; 3 – нарезание резьбы и отрезка; 4 – центровка и предварительная фасонная обработка; 5 – окончательная фасонная обработка; 6 – отрезка

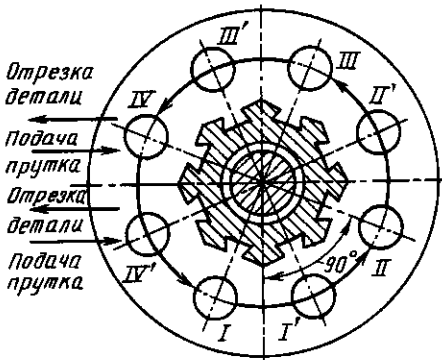


Рис. 12. Схема последовательно-параллельной обработки заготовок на многошпиндельном автомате с двойной индексацией

дения К. Например, для резбонарезного приспособления, частота вращения  $n_{пр}$  которого меньше, чем основного шпинделя (нарезание резьбы с отставанием),

$$K = n_{пр} / n_{шп.}$$

Подачу для продольного суппорта выбирают по лимитирующему переходу. Она является общей для всех инструментов продольного суппорта, кроме тех, которые имеют индивидуальные приводы подачи. Для инструментов поперечных суппортов подачу выбирают отдельно для каждого суппорта.

6. Определение числа оборотов шпинделя  $n = 1 / S'_0$ .

Из полученных значений  $n$  выбирают наибольшее, которое корректируют с учетом паспортных данных, т.е. принимают ближайшее  $n$  при установленном  $n_{шп.}$  Так как у автомата постоянный кулачок, на котором для выполнения рабочих ходов отводится постоянное число градусов, выбранному  $n$  с учетом высоты соответствует угол рабочих ходов  $\alpha$ , без учета высоты  $\alpha'$ . Отсюда можно определить число оборотов, приходящееся на наибольший переход без выстоя:  $n' = n\alpha' / \alpha$  и по  $n_1$  определить фактически подачи на каждый переход

$$S'_0 = 1 / n'.$$

7. Определение производительности многшпindleного автомата:

$$Q_{ц} = 1/T,$$

где  $T = t_p + t_n$ ; здесь  $t_p$  – время рабочих ходов;  $t_p = n/n_{шп}$  ( $n$  – число оборотов шпинделя, необходимое для выполнения наибольшего перехода с учетом выстия инструмента;  $n_{шп}$  – частота вращения шпинделя);  $t_n$  – время выполнения вспомогательных ходов, указанное в паспорте автомата.

### ОБРАБОТКА НА ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ОДНОШПИНДЕЛЬНЫХ ТОКАРНЫХ ПОЛУАВТОМАТАХ

На токарных полуавтоматах обрабатывают сравнительно несложные детали типа многоступенчатых валов и осей диаметром до 500 и длиной до 1500 мм – в центрах, диаметром до

600 мм – в патроне, а также деталей типа втулок, полумуфт, устанавливаемых на оправках. На этих полуавтоматах возможна обработка цилиндрических, фасонных, конических и торцовых поверхностей. Используют штучные заготовки, получаемые ковкой, штамповкой, литьем и другими способами. Режущий инструмент применяют тот же, что и для токарной обработки.

На многорезцовых полуавтоматах используют большое число одновременно работающих резцов, которые движутся по одинаковым траекториям. Эти резцы устанавливают на продольном и поперечном суппортах (рис. 13). Многорезцовые полуавтоматы имеют полуавтоматический цикл работы. Установка и зажим заготовки (в патроне или в центрах) и съем готовой детали осуществляются вручную, подвод суппортов с резцами, обработка заготовки, возврат суппортов в исходное положение и остановка полуавтомата – автоматически.

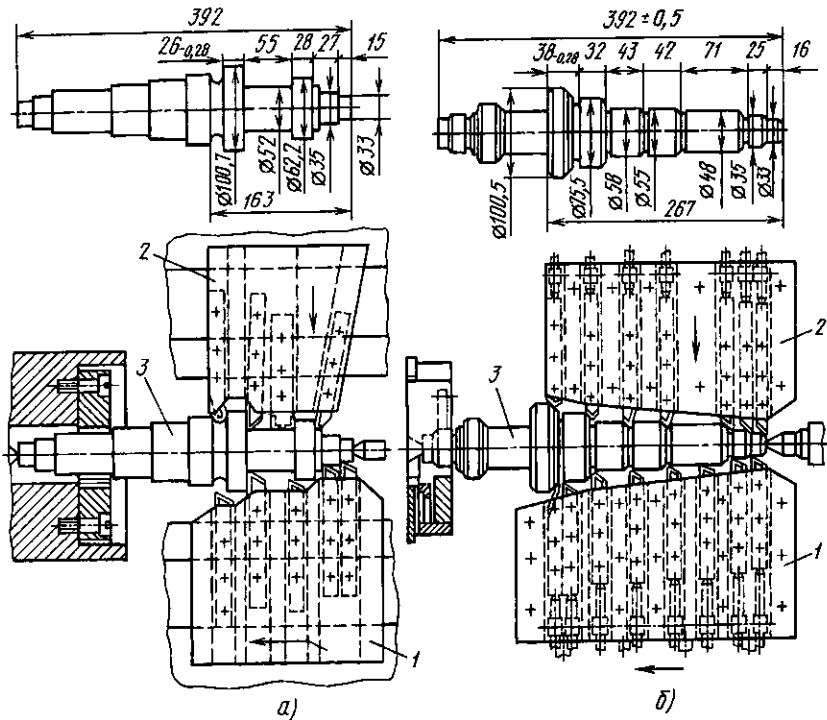


Рис. 13. Схема обработки детали на многорезцовом одношпindleльном полуавтомате: *а* – предварительная обработка одного конца заготовки; *б* – окончательная обработка другого конца заготовки; 1 – продольный суппорт с инструментами; 2 – поперечный суппорт с инструментами; 3 – заготовка

На копировальных полуавтоматах (рис. 14) профиль заготовки обрабатывают одним резцом копировального суппорта с управлением его работы по копии. Проточку канавок проводят чаще всего канавочными резцами с поперечного суппорта. Обработка заготовок на копировальных полуавтоматах методом копирования позволяет быстро менять траекторию движения копировального суппорта при переходе на обработку другой заготовки и переналадке копировальных полуавтоматов. Обработка осевого профиля заготовки только одним резцом значительно упрощает наладку и подналадку режущих инструментов по сравнению с многорезцовыми полуавтоматами, а использование меньшего числа инструментов позволяет применять повышенные режимы резания.

*Особенности обработки на токарных полуавтоматах:*

1. На одношпиндельных горизонтальных токарных полуавтоматах обычно получают детали, точность размеров которых соответствует 11–13-му качеству. При правильной наладке и подборе оснастки точность размеров может быть повышена до 7–9-го качества.

2. При проектировании наладок необходимо стремиться к тому, чтобы инструменты, установленные на продольных и поперечных суппортах, работали одновременно. В этом случае силы резания от одних резцов уравновешиваются силами резания от других резцов.

3. Число резцов в наладке определяется жесткостью технологической системы полуавтомата и точностью обработки детали.

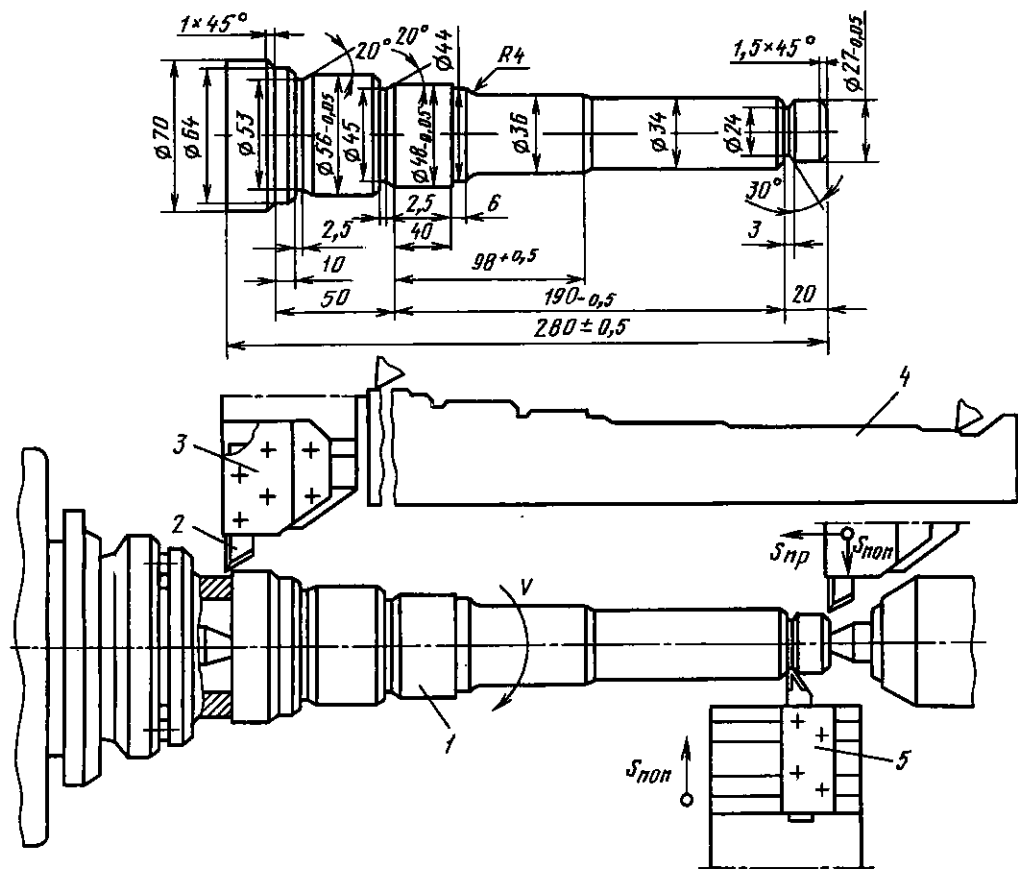


Рис. 14. Схема обработки детали на одношпиндельном копировальном полуавтомате: 1 – заготовка; 2 – резец; 3 – копировальный суппорт; 4 – копия; 5 – поперечный суппорт

4. Миогорезцовую обработку заготовки разделяют между режущими инструментами так, чтобы суммарная нагрузка полуавтомата в течение всей обработки была по возможности постоянной.

5. Черновую обработку длинных гладких поверхностей рекомендуется проводить с использованием многорезцовых наладок, а чистовую — одним резцом.

6. При чистовом обтачивании на многорезцовых полуавтоматах ступенчатых деталей необходимо каждую ступень обрабатывать одним резцом.

7. Для обработки ступенчатых деталей с точностью до 7–9-го квалитета обработку следует вести широкими фасонными или брезущими резцами, устанавливаемыми на задних суппортах. Ширина обработки не более 90 мм.

8. Базовые отверстия заготовок для установки на оправках обрабатывают по 6-му квалитету.

*Порядок наладки одношпиндельных горизонтальных токарных полуавтоматов:*

1. Выбор заготовки и полуавтомата (см. гл. 5, раздел II).

2. Разработка технологического процесса обработки детали. Выбор способа установки и крепления заготовки, числа инструментов и схемы их расположения.

3. Определение ходов инструментов  $l$  и режима обработки  $v$  и  $S_0$  (так же, как и для автоматов). Длину ходов режущих инструментов определяют по формуле

$$l = l' + \Delta,$$

где  $l'$  — длина обработки, мм;  $\Delta$  — дополнительный ход резца, состоящий из подвода, врезания и перебега, мм.

Параметры  $v$  и  $S_0$  определяют для каждого перехода в соответствии с нормативами. За расчетные принимают наименьшие полученные значения  $v$  и  $S_0$ , скорректированные по паспорту полуавтомата. Рассчитывают частоту вращения шпинделя полуавтомата и принимают ближайшее меньшее значение  $n_{\text{шп}}$ .

4. Число оборотов шпинделя на рабочий переход

$$n_p = l / S_0.$$

Расчетным  $n_p$  является наибольшее полученное значение, учитываемое при определении времени обработки.

5. Время обработки одной заготовки

$$T_3 = t_p + t_b,$$

где  $t_p$  — время обработки детали, мин;  $t_b$  — время на вспомогательные ходы (отвод суппортов, съем, установку и зажим заготовки и др.).

6. Расчет и построение копира (для копировальных полуавтоматов). В полуавтоматах могут применяться плоские копиры, которые называются также шаблонами, и круглые копиры — эталонные детали. Размеры рабочего профиля копира по длине и высоте (или по диаметру) должны точно соответствовать профилю изготавливаемой детали.

Минимальную высоту копира  $H_{\text{min}}$ , необходимую для обработки заготовки, определяют как сумму минимально возможной высоты копира  $h_{\text{min}}$  и разницы между минимальным радиусом  $R_{\text{min}}$  обрабатываемой заготовки и минимально возможным радиусом  $r_{\text{min}}$  обработки на полуавтомате:

$$H_{\text{min}} = h_{\text{min}} + (R_{\text{min}} - r_{\text{min}}).$$

Другие размеры копира, по высоте соответствующие любому радиусу  $R$  обрабатываемой заготовки, определяют из выражения

$$H = H_{\text{min}} + R - R_{\text{min}}.$$

Линейные размеры участков рабочего профиля копира должны точно соответствовать размерам обрабатываемой заготовки. При определении всей длины копира необходимо учитывать следующие требования. Для задания необходимой траектории движения резца на подходе к обрабатываемой заготовке длину копира увеличивают вправо на 25...30 мм. Профиль этого участка выбирают в зависимости от технологии обработки.

## ОБРАБОТКА НА ВЕРТИКАЛЬНЫХ МНОГОШПИНДЕЛЬНЫХ ТОКАРНЫХ ПОЛУАВТОМАТАХ

Вертикальные многошпиндельные токарные полуавтоматы по принципу работы подразделяют на полуавтоматы последовательного и параллельного (непрерывного) действия.

На многошпиндельных полуавтоматах последовательного действия обрабатывают шестерни, фланцы, муфты, шкивы, ступицы и другие детали, а также выполняют обтачивание цилиндрических и конических поверхностей, растачивание отверстий, вытачивание канавок, сверление, зенкерование и развертывание от-



верстий, как расположенных на оси вращения, так и вне ее. Заготовки закрепляют в патронах или специальных приспособлениях.

Точность диаметральных размеров поверхностей, получаемых на полуавтоматах последовательного действия, соответствует 6–9-му качеству; при этом точность во многом зависит от правильного выбора наладки и технологической оснастки.

Схема работы полуавтомата последовательного действия приведена на рис. 15. Заготовки крепят в патронах вращающихся вертикальных шпинделей. Все шпиндели расположены на общем шпиндельном блоке, выполненном в виде поворотного стола. При повороте стола шпиндели с заготовками перемещаются на следующие позиции, где обработка продолжается другой группой инструментов. Во время поворота стола шпиндели не вращаются. Обработка в каждой позиции осуществляется после поворота стола с заготовками. На первой позиции готовая деталь снимается и устанавливается новая заготовка. Шпиндель в первой позиции не вращается.

Обрабатываемый инструмент устанавливают в продольных суппортах, смонтированных на поверхностях колонны. Для получения поперечной подачи инструментов используют специальные суппорты, в которых продольное движение преобразуется в поперечное.

За один оборот стола заготовки последовательно перемещаются с одной позиции на другую, подвергаясь полной обработке (рис. 16).

Время одного цикла работы этих полуавтоматов складывается из времени обработки на наиболее трудоемкой позиции и времени, необходимого на выполнение вспомогательных ходов (поворот и фиксацию стола, подвод и отвод инструментов и др.).

Многошпиндельные токарные полуавтоматы параллельного действия предназначены для получения деталей сравнительно несложной формы. При обработке заготовки устанавливаются в центрах или патронах. В центрах обрабатывают заготовки типа валов и барабанов. На полуавтоматах данного типа обеспечивается точность размеров по 11-му качеству, а при использовании специального инструмента – 7–10-му качеству. Операции, выполняемые на полуавтоматах: растачивание, обтачивание, подрезание торцовых поверхностей и другие виды работ.

Вертикальные многошпиндельные полуавтоматы параллельного действия (рис. 17) построены по принципу роторных автоматов. Закрепленные и вращающиеся в шпинделях заготовки и суппорты с инструментами установлены на общей карусели, которая в процессе работы стака поворачивается. Время поворота карусели должно быть равно времени обработки заготовки. Производительность же автомата равна отношению времени поворота карусели к числу позиций в полуавтомате. Суппорты на каждой позиции оснащают одной и той же наладкой инструментов и с их помощью выполняют в одной и той же технологи-

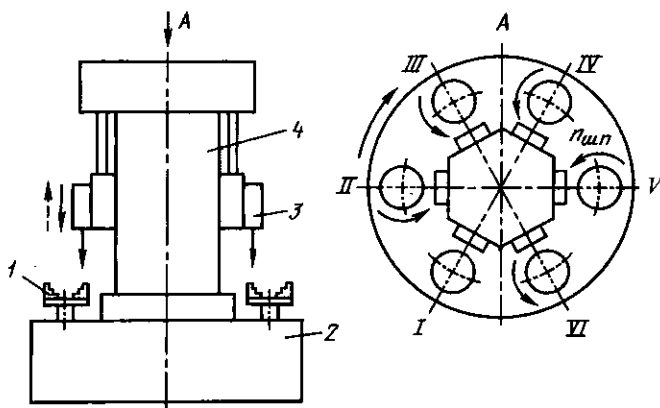


Рис. 15. Схема работы многошпиндельного вертикального полуавтомата последовательного действия:

1 – патрон для закрепления заготовки; 2 – поворотный стол; 3 – суппорт; 4 – колонна;  
I–VI – позиции полуавтомата

ческой последовательности обработку заготовки. Привод суппортов осуществляется от

одной группы неподвижных кулачков при вращении карусели вокруг колонны.

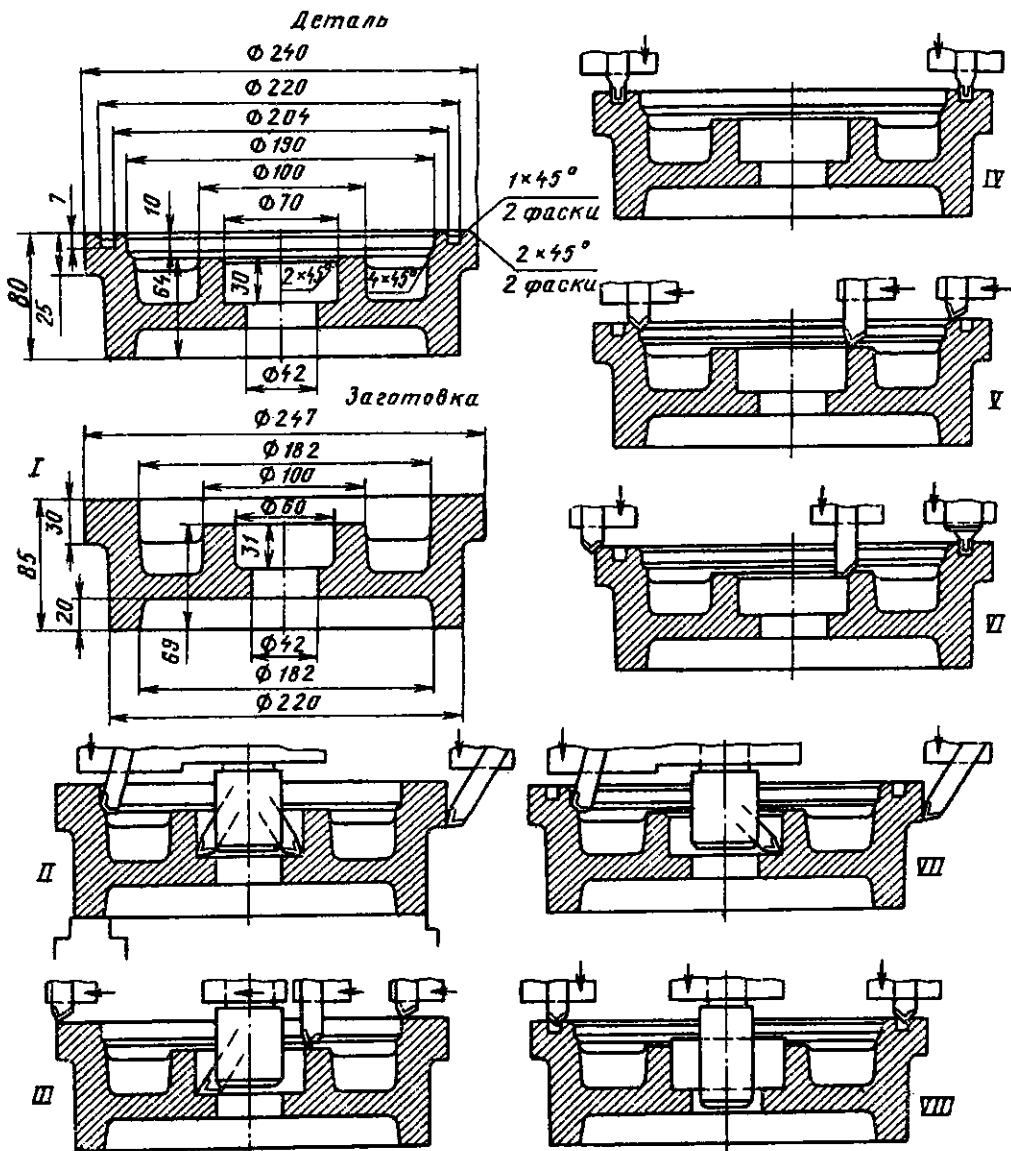


Рис 16. Схема получения детали на вертикальном многошпиндельном полуавтомате последовательного действия:

- I – установка заготовки; II – предварительное обтачивание поверхности диаметром 240 мм и растачивание отверстия диаметром 190 и 70 мм; III – предварительная подрезка торцов; IV – предварительная проточка канавки на торце; V – окончательная подрезка торцов и снятие фаски; VI – окончательная проточка канавки и снятие фаски; VII – окончательное обтачивание поверхности диаметром 240 мм и окончательное растачивание отверстия диаметром 190 мм и предварительное растачивание отверстия диаметром 70 мм; VIII – развертывание отверстия диаметром 70 мм и снятие фасок

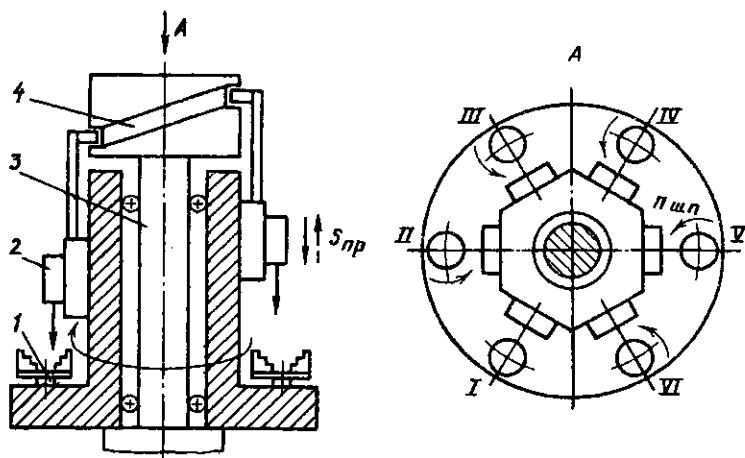


Рис. 17. Схема работы вертикального многшпindleльного полуавтомата параллельного действия:  
 1 – патрон для закрепления заготовок; 2 – суппорт; 3 – неподвижная колонна; 4 – неподвижный кулачок;  
 I–IV – позиции полуавтомата

Съем готовой детали и установка новой заготовки на этих полуавтоматах производятся на ходу, когда очередная позиция со шпинделем проходит мимо рабочего в зоне загрузки. При подходе к этой зоне вращения шпинделя с деталью прекращается, а суппорт отходит в верхнее положение. Разновидность полуавтоматов параллельного действия – прерывистое вращение карусели с остановкой для съема готовой детали и установки заготовки. Во время этой остановки выключается вращение только шпинделя загрузочной позиции, на остальных позициях, благодаря индивидуальным приводам вращения шпинделя и подачи суппорта, обработка заготовок продолжается.

На рис. 18 показана последовательность обработки заготовки на многшпindleльном полуавтомате параллельного действия.

*Особенности обработки на вертикальных многшпindleльных токарных полуавтоматах:*

1. Применяют для обработки больших партий одинаковых заготовок в крупносерийном и массовом производстве.

2. Заготовки загружают и снимают готовые детали вручную, все остальные операции выполняются автоматически. Время на установку заготовки и съем готовой детали при наладке не учитывают.

3. У большинства изготавливаемых деталей длина меньше диаметра, поэтому детали закрепляют в патронах шпинделей. На некото-

рых полуавтоматах заготовки типа ступенчатых валов обрабатывают в центрах.

4. Все операции технологического процесса обработки заготовки разделяют равномерно между всеми рабочими позициями.

5. Многшпindleльные полуавтоматы последовательного действия при обработке сравнительно простых деталей с небольшим числом переходов налаживают на двух- (рис. 19) и трехцикловую работу. При этом можно обрабатывать детали с двух сторон с поворотом или обрабатывать однотипные детали.

6. Поверхности большой длины следует для уменьшения времени обработки делить на участки и выполнять обработку на двух-трех позициях.

7. Чтобы резец не оставлял царапин на обрабатываемой поверхности при обратном ходе суппорта, в том случае когда необходимо получить высокую точность и малую шероховатость этой поверхности, применяют специальные копирные державки для отвода инструментов в конце рабочего хода.

8. Обработку точных отверстий на полуавтоматах последовательного действия следует проводить специальными плавающими головками.

9. Соосно расположенные отверстия обрабатывают на одних и тех же позициях, чтобы исключить влияние на соосность погрешности от поворота стола, которая достигает 0,03 мм.

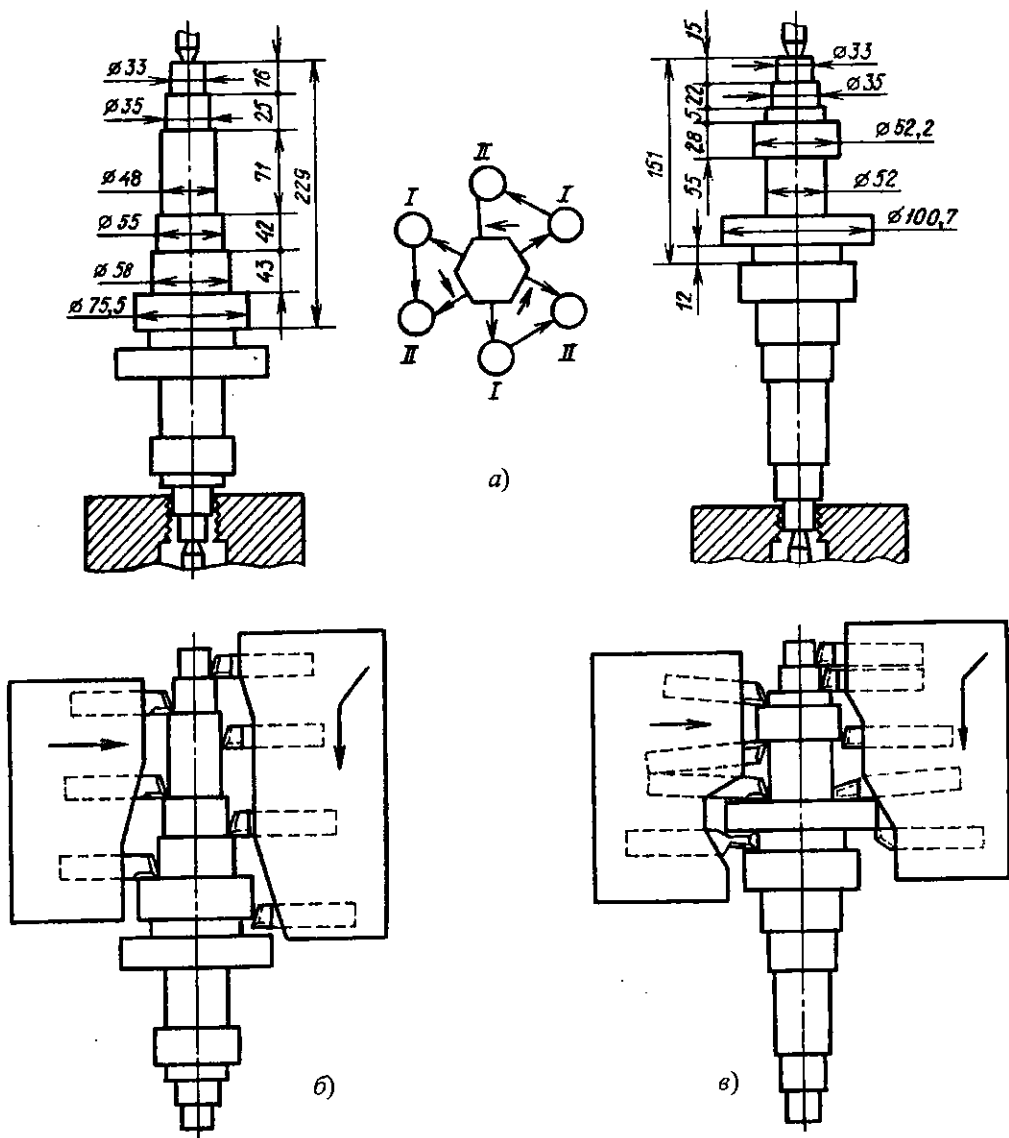


Рис. 18. Схема обработки детали на вертикальном многошпиндельном полуавтомате параллельного действия для двухциклового обработки ступенчатого валика: а – схема расположения позиций полуавтомата; б – обработка валика с одной стороны; в – обработка валика с другой стороны

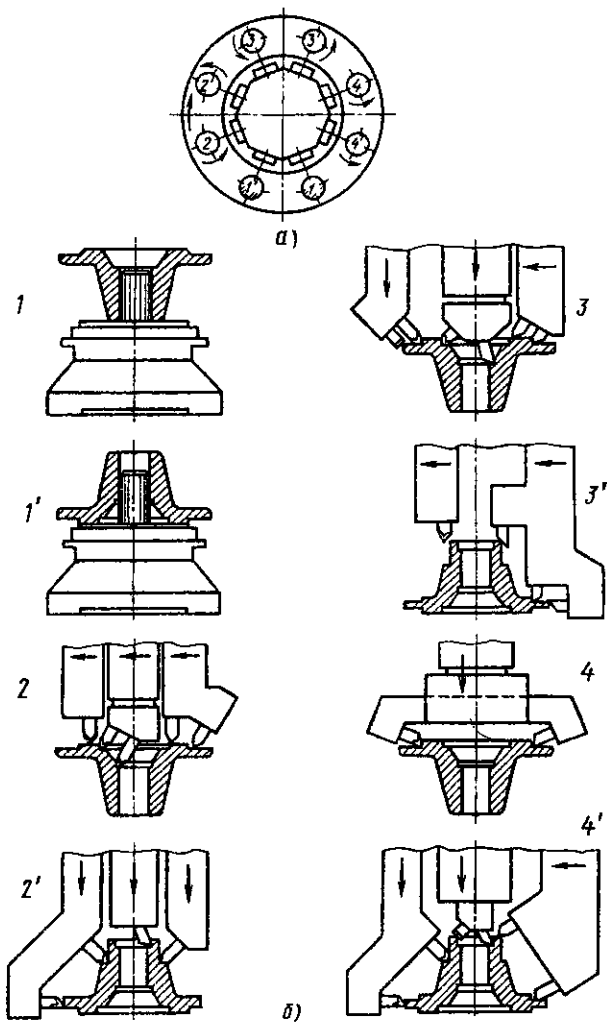
10. При получистовой обработке отверстий в отливках и поковках применяют зенкеры.

11. Отверстия 6, 7-го квалитета точности обрабатывают плавающей или качающейся разверткой после двукратного растачивания.

12. Сверление, зенкерование и развертывание отверстий, расположенных не на осн

вращения заготовки, выполняют многошпиндельными головкам.

13. Фасонные и коинческие поверхности обрабатывают с применением универсальных и специальных суппортов, а также специальных копирных державок и сложного фасонного инструмента.



**Рис. 19. Схема обработки фланца на вертикальном многошпиндельном полуавтомате последовательного действия для двухциклового обработки:**

*a* – схема расположения позиций полуавтомата; *б* – последовательность обработки фланца:

*1* и *1'* – загрузочные позиции; *2, 3* и *4* – обработка фланца с одной стороны;

*2', 3'* и *4'* – обработка фланца с другой стороны

*Порядок наладки вертикальных многошпиндельных токарных полуавтоматов:*

1. Выбор заготовки и полуавтомата.

2. Разработка технологического процесса изготовления детали. Выбор способа установки и крепления заготовки, подбор и расстановка суппортов и инструментов.

3. Определение ходов инструментов  $l_p$ . Ход инструмента для каждой рабочей позиции определяют по формуле

$$l_p = l' + \Delta.$$

Так как на каждой рабочей позиции имеет место многорезцовая обработка с одного общего суппорта, то ход суппорта определяет-

ся наибольшей длиной обрабатываемой на данной позиции поверхности, т.е.  $l_{\max}$ .

4. Определение параметров режимов обработки  $v$ ,  $S_0$  и  $n_{\text{шп}}$ .

Для инструментов на каждой рабочей позиции выбирают единую наименьшую подачу и скорость резания (соответственно  $S_0$  и  $n_{\text{шп}}$ ). Выбранные значения  $S_0$  и  $n_{\text{шп}}$  уточняют по паспорту полуавтомата и принятые значения заносят в таблицу карты наладки. Сюда же записывают числа зубьев сменных зубчатых колес для каждой рабочей позиции.

5. Определение времени  $T_3$  одного цикла работы полуавтомата и его производительности  $Q_{\text{ц}}$ :

$$T_3 = t_p + t_b,$$

где  $t_p$  — время обработки на одной позиции (наиболее длительное время), с;  $t_b$  — время вспомогательных ходов (отвод и подвод суппортов, расфлюскация и поворот стола и др.), с.

Производительность полуавтомата

$$Q_{\text{ц}} = 1/T_3.$$

## ОБРАБОТКА НА ТОКАРНО-КАРУСЕЛЬНЫХ СТАНКАХ

На токарно-карусельных станках (карусельных) обрабатывают детали с большими габаритными размерами (диаметрами) и массой, которые невозможно обработать на других станках токарной группы. Эти станки широко применяют в единичном и серийном производстве во всех отраслях машиностроения.

На карусельных станках (рис. 20) стол (планшайба) с закрепленной на нем обрабатываемой заготовкой совершает вращательное движение вокруг вертикальной оси; режущие инструменты, закрепленные в верхних (монтируемых на траверсе) и боковых суппортах, получают движение подачи. На карусельных станках выполняют: обработку наружных и внутренних цилиндрических и конических, а также торцовых поверхностей; подрезание уступов; прорезание канавок; обработку сферических и фасонных поверхностей; отрезание и вырезание; отделочную об-

работку цилиндрических поверхностей (широким резцом, шлифованием, суперфинишем).

Основные параметры для обработки на токарно-карусельных станках приведены в табл. 62. Одностоечные станки имеют один вертикальный суппорт, обычно с пятипозиционной револьверной головкой, и один боковой суппорт с четырехрезцовым поворотным резцедержателем. Двухстоечные станки имеют два вертикальных и два боковых суппорта.

*Особенности обработки на карусельных станках:*

1. Выбор метода обработки определяется габаритными размерами и массой заготовок, программой выпуска, видом заготовки и др. Небольшие заготовки диаметром до 800 мм, изготавливаемые серийно, целесообразно обрабатывать по методу дифференциации технологических переходов. При наладке массовых заготовок, а также при обработке единичных заготовок или их небольших партий более целесообразно применять метод концентрации технологических переходов.

2. Необработанные поверхности, принимаемые за черновые базы, при первой установке должны обладать достаточными размерами и быть по возможности ровными и чистыми, т.е. без литников, прибылей, заусенцев и т.п. При повторных установках в качестве установочных баз используют только обработанные поверхности (чистовые базы).

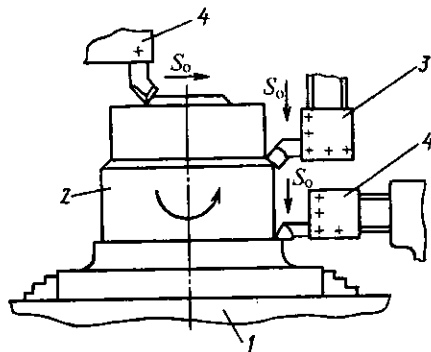


Рис. 20. Схема обработки заготовки на токарно-карусельном станке:  
1 — стол станка; 2 — заготовка; 3 — верхний суппорт;  
4 — боковой суппорт



3. При обработке с одного установка обеспечивается высокая концентричность наружной и внутренней цилиндрических поверхностей. Базирование по наружной поверхности обеспечивает передачу большего крутящего момента, но точность по соосности с отверстием снижается.

4. При чистовом обтачивании на карусельных станках получают поверхности, точность которых соответствует 7–9-му качеству, а параметр шероховатости поверхности от  $Rz = 10 \dots 20$  до  $Ra = 1,25 \dots 2,5$  мкм. Обработка широким резцом обеспечивает получение параметра шероховатости поверхности  $Ra = 0,63 \dots 1,25$  мкм; при обкатке роликами –  $Ra = 0,16 \dots 0,63$  мкм, при отделке поверхности колдблужающимися брусками –  $Ra = 0,02 \dots 0,16$  мкм.

5. При использовании индикаторных упоров обеспечивается точность линейных размеров до 0,05 мм на длине 500 мм.

6. Отверстия диаметром до 250 мм обычно обрабатывают на станках с револьверной головкой (рис. 21). Весь необходимый режущий инструмент устанавливают в гнездах револьверной головки в соответствии с разработанным технологическим процессом обработки заготовки.

7. Отверстия диаметром более 250 мм обрабатывают растачиванием. Для сокращения времени обработки рекомендуется растачивание и обтачивание больших по размерам поверхностей вести при одновременном использовании двух и более суппортов (рис. 22).

8. Перед зенкерованием и растачиванием отверстий в заготовках, полученных литьем или штамповкой, рекомендуется для повышения стойкости инструментов обточить верхний торец заготовки резцом, закрепленным в бо-

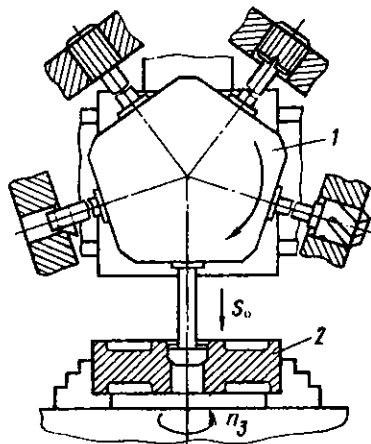


Рис. 21. Схема обработки заготовки на токарно-карусельном станке с использованием револьверной головки: 1 – револьверная головка; 2 – заготовка

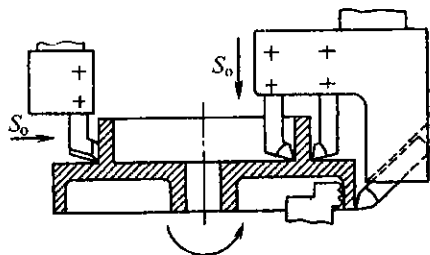


Рис. 22. Одновременная обработка наружных и внутренних цилиндрических поверхностей на токарно-карусельном станке

вом суппорте. Для направления зенкера отверстия растачивают на  $1/3$  его длины.

9. Заготовки типа колец можно обрабатывать одновременно, устанавливая их пакетом в многоместном приспособлении.



# Глава 7

## ОБРАБОТКА ОТВЕРСТИЙ ОСЕВЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

1. Последовательность

Переход		Диаметр отверстия $D$ , мм																		
		4...12	12...40	12... 100	40... 100															
Центрование		[-----]																		
Сверление		○																		
Рассверливание		○																		
Разверты- вание	черновое	○																		
	получистовое	○																		
	чистовое	○																		
Разверты- вание	черновое	○																		
	получистовое	○																		
	чистовое	○																		
Цекование		[-----]																		
Зенкование		[-----]																		
Ra, мкм	IT	○																		
	80... 40	○																		
	40... 20	○																		
	20... 10	○																		
	10... 5	○																		
	5	○																		
	2,5	○																		
	2,5	○																		
	1,25	○																		
	1,25	○																		
0,6	○																			
Номер варианта		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

При обработке отверстий используют различные виды осевого инструмента. Последовательность и число выполняемых им операций зависят от требуемой точности отверстия, его диаметра, шероховатости поверхности, а также от того, обрабатывается отверстие в

сплошном материале или отверстии предварительно получено.

Схема для определения последовательности обработки отверстий для получения требуемой точности и шероховатости показана в табл. 1.

обработки отверстий

Переход		Диаметр отверстия D, мм																	
		4...12	12...40	12...100	40...100														
Центрование																			
Сверление		○	○	○	○														
Рассверливание		○	○	○	○														
Зенкование	черновое	□	○	○	○														
	получистовое	□	○	○	○														
	чистовое	□	○	○	○														
Развертывание	черновое	□	○	○	○														
	получистовое	□	□	□	□														
	чистовое	□	□	□	□														
Цекование																			
Зенкование																			
Ra, мкм	IT	○	○	○	○														
	80...40	13	○	○	○														
	40...20	12	○	○	○														
	20...10	11	○	○	○														
	10...5	10	○	○	○														
	5	9	○	○	○														
	2,5	8	○	○	○														
	2,5	8	○	○	○														
1,25	7	○	○	○															
1,25	7	○	○	○															
0,6	7	○	○	○															
Номер варианта		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

○ - без подрезки дна; □ - с подрезкой дна

Для закрепления осевых инструментов применяют цилиндрические и конические (конусы Морзе № 0...4 и метрические конусы 4...120) хвостовики. Величины диаметров цилиндрических хвостовиков приведены в табл. 2.

## 2. Диаметры хвостовиков осевых инструментов (ГОСТ 28521-90), мм

–	1,12	11,20	–	3,55	35,50
–	1,25(1,2*)	12,50(12,0)	–	4,00	40,00
–	1,40(1,5**)	14,00	–	4,50	45,00
–	1,60	16,00	–	5,00	50,00
–	1,80	18,00	–	5,60	56,00
–	2,00	20,00	–	6,30(6,0)	63,00
–	2,24	22,40	–	7,10	71,00
–	2,50	25,00	–	8,00	80,00
–	2,80	28,00	–	9,00	90,00
–	3,15(3,0)	31,50(32)	1,00	10,00	100,00

\* – для спиральных сверл; \*\* – для малоразмерных сверл с утолщенным хвостовиком.

Примечания: 1. ГОСТ 28521-90 не распространяется на инструмент, у которого диаметр хвостовика равняется диаметру рабочей части.

2. В скобках указаны допустимые замены стандартных диаметров.

## СВЕРЛА. ЗЕНКЕРЫ И ЗЕНКОВКИ

Сверла применяют для сверления отверстий в сплошном материале и для рассверливания отверстий, полученных сверлением, литьем, ковкой и штамповкой, при этом достигается точность отверстия по 12...13 качеству и параметр шероховатости  $Ra$  20...80 мкм. Сверле-

ние отверстий диаметром до 25 мм в сплошном материале обычно производят одним сверлом, а диаметром более 25 мм – последовательно двумя или тремя сверлами.

Основные размеры, градация диаметров, геометрические параметры режущей части сверл приведены в табл. 3–6.

Зенкеры предназначены для обработки предварительно изготовленных (сверлением, литьем, штамповкой и др.) отверстий с целью повышения точности отверстия, исправления искривления его оси и уменьшения шероховатости поверхности отверстия. В технологическом процессе зенкер, как правило, выполняет промежуточную операцию между сверлением и развертыванием. Зенкерованием обычно получают отверстие точностью по 11 качеству и с параметром шероховатости поверхности до  $Ra = 2,5$  мкм.

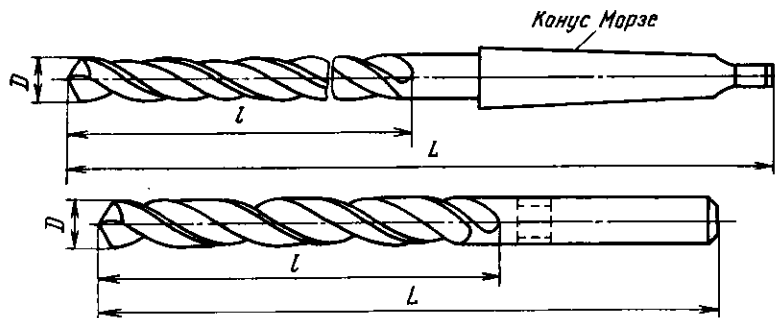
Зенковки являются разновидностью зенкеров, выполняющих обработку конических и торцевых поверхностей.

Основные размеры, геометрические параметры режущей части зенкеров и зенковок приведены в табл. 7 и 8.

## 3. Градация диаметров сверл (ГОСТ 885-77 (в ред. 1983 г.)), мм

Диапазоны диаметров сверл	Градация диаметров сверл
Св. 1,00 до 3,00	0,05
Св. 3,00 до 14,00	0,10
Св. 14,00 до 32,00	0,25
Св. 32,00 до 51,00	0,50
Св. 51,00 до 80,00	1,00

## 4. Стандартизованные типы спиральных сверл и их основные размеры, мм



Продолжение табл. 4

Типы сверл	ГОСТ	D	L	l
<b>Спиральные</b>				
<i>с цилиндрическим хвостовиком</i>				
короткая серия	4010-77 (в ред. 1988 г.)	0,50...40	20...207	3...104
средняя серия	10902-77 (в ред. 1988 г.)	0,25 ...20	19...205	3...140
длинная серия	886-77 (в ред. 1988 г.)	1,0...31,5	56...316	33...207
для обработки легких сплавов				
средняя серия	19543-74 (в ред. 1988 г.)	1...12	34...151	12...101
длинная серия	19544-74 (в ред. 1988 г.)	1,95...12	85...205	56...134
левые	19545-74 (в ред. 1988 г.)	1...20	34...205	12...140
для обработки труднообрабатываемых материалов				
короткая серия	20694-75 (в ред. 1983 г.)	3...10	45...90	16...45
средняя серия	20695-75 (в ред. 1983 г.)		60...135	32...90
<i>с коротким цилиндрическим хвостовиком, длинная серия</i>				
	12122-77 (в ред. 1989 г.)	1...10,6	48...162	26...116
<i>малоразмерные с утолщенные цилиндрическим хвостовиком</i>				
	8034-76 (в ред. 1987 г.)			
короткая серия		0,10...1,5	14...32	0,6...9
длинная серия		0,10...1,0	14...25	1,2...9
<i>с коническим хвостовиком</i>				
	10903-77 (в ред. 1988 г.)			
с нормальным хвостовиком		5...80	133...514	52... 260
с усиленным хвостовиком		12...76	199...514	101...260
удлиненные	2092-77 (в ред. 1983 г.)	6...30	225...395	145...275
длинные	12121-77 (в ред. 1989 г.)	5...50	155...470	74...321
для обработки легких сплавов				
нормальные	19546-74 (в ред. 1988 г.)		138...324	57...175
удлиненные	19547-74 (в ред. 1988 г.)	6...30	225...420	145...275
для обработки труднообрабатываемых материалов				
короткая серия	20696-75 (в ред. 1983 г.)		105...180	30...80
средняя серия	20697-75 (в ред. 1983 г.)	6...20	140...240	60...140

Окончание табл. 4

Типы сверл	ГОСТ	<i>D</i>	<i>L</i>	<i>l</i>
<b>Спиральные, оснащенные пластинами из твердого сплава</b>				
<i>с цилиндрическим хвостовиком</i>	22735-77 (в ред. 1983 г.)			
укороченные		5...16	70...138	36...80
нормальные			86...178	52...120
<i>с коническим хвостовиком</i>	22736-77 (в ред. 1983 г.)			
укороченные		10...30	140...275	60...125
нормальные			168...324	87...175
<b>Спиральные цельные твердосплавные</b>				
<i>с цилиндрическим хвостовиком</i>				
укороченные	17273-71 (в ред. 1984 г.)	1,5...6,5	35...65	5...25
короткая серня	17274-71 (в ред. 1987 г.)	1...12	32...100	6...50
средняя серня	17275-71 (в ред. 1987 г.)	3...12	55...120	24...70
<i>с коническим хвостовиком</i>	17276-71 (в ред. 1987 г.)	6...12	120...150	40...70
<b>Спиральные ступенчатые для отверстий под метрическую резьбу</b>	28320-89			
<i>с цилиндрическим хвостовиком</i>		2,5...12 (3,4...16)* <sup>1</sup>	70...178	39...120 (8,8...11,4)
<i>с коническим хвостовиком</i>		6,8...26,5 (9...33)* <sup>1</sup>	162...334	81...185 (20...70,4)
<b>Спиральные ступенчатые для отверстий под винты с цилиндрической головкой</b>	28319-89			
<i>с цилиндрическим хвостовиком</i>		4,5...11 (8...18)* <sup>1</sup>	117...191	75...130 (10...23)
<i>с коническим хвостовиком</i>		5,5...22 (10...34)* <sup>1</sup>	168...339	87...190 (13...43)
<b>С механическим креплением смежных многогранных пластин</b>	27724-88 (в ред. 1991 г.)	18,5...60	108...230	60...165
<b>Центровочные комбинированные</b>	14952-75 (в ред. 1991 г.)			
<i>тип А</i>		0,5...10 (3,15...25)* <sup>2</sup>	21...103	1,0...14,2
<i>тип В</i>		0,8...10 (4,0...31,5)* <sup>2</sup>	33,5...128	1,5...14,2
<i>тип С</i>		0,8...2,5 (3,15...6,3)* <sup>2</sup>	21...47	1,5...4,1
<i>тип R</i>		1,5...10 (3,15...25)* <sup>2</sup>	21...103	2,0...26,5
<b>Комбинированные твердосплавные для печатных плат</b>	20686-75 (в ред. 1987 г.)	0,8...2,5 (2,0...4,0)* <sup>2</sup>	32...38	2,8; 3,3

\*<sup>1</sup> – в скобках указаны диаметр второй ступени и минимальная длина рабочей части первой ступени;  
\*<sup>2</sup> – в скобках указан диаметр хвостовика.

## 5. Формы заточки и геометрические параметры сверл

Сверла из быстрорежущей стали (ГОСТ 4010-77 (в ред. 1988 г.))

## Нормальная заточка

Диаметр сверла, $d$ , мм	Разновидность заточки	Эскиз	Обработка
Св. 0,24 до 80	Нормальная (Н)		Сталь, стальные литые заготовки и чугун
Св. 7,5 до 80	С подточкой поперечной кромки (НП)		Сталь и стальные литые заготовки с неснятой коркой ( $\sigma_B < 500$ МПа)
Св. 11,8 до 80	С подточкой поперечной кромки и ленточки (НПЛ)		Сталь и стальные литые заготовки со снятой коркой ( $\sigma_B < 500$ МПа)

Диаметр сверла, $d$ , мм	Заточка			Подточка поперечной кромки		Подточка ленточки
	$\alpha$ , ° при заточке		$\psi$ , °	$a$ , мм	$l$ , мм	$l_1$ , мм
	одноплоскостной	двухплоскостной и винтовой				
Св. 0,24 до 0,95	30	20	Не регламентируется	—	—	—
Св. 0,95 до 3,0		18				
Св. 3,0 до 7,5	—	16	40...60			

Продолжение табл. 5

## Сверла из быстрорежущей стали (ГОСТ 4010-77 (в ред. 1988 г.))

## Нормальная заточка

Диаметр сверла, $d$ , мм	Заточка			Подточка поперечной кромки		Подточка ленточки
	$\alpha$ , ° при заточке		$\psi$ , °	$a$ , мм	$l$ , мм	$l_1$ , мм
	одноплоскостной	двухплоскостной и винтовой				
Св. 7,5 до 9,5	-	12	40...60	1,0	2,0	-
Св. 9,5 до 11,8				1,2	2,5	
Св. 11,8 до 16,0				1,5	2,5	1,5
Св. 16,0 до 20,0				2,0	3,5	
Св. 20,0 до 25,0				2,5	4,5	2,0
Св. 25,0 до 31,5		3,0		5,5		
Св. 31,5 до 40,0		11		3,5	6,0	3,0
Св. 40,0 до 50,0				5,0	8,0	
Св. 50,0 до 63,0				6,0	10,0	4,0
Св. 63,0 до 71,0				7,0	12,0	
Св. 71,0 до 80,0	8,0		14,0			

## Двойная заточка

Диаметр сверла, $d$ , мм	Разновидность заточки	Эскиз	Обработка
Св. 12 до 80	С подточкой поперечной кромки (ДП)		Стальные ( $\sigma_B > 500$ МПа) и чугунные литые заготовки с неснятой коркой
	С подточкой поперечной кромки и ленточки (ДПЛ)		Стали, стальные ( $\sigma_B > 500$ МПа) и чугунные литые заготовки со снятой коркой

Продолжение табл. 5

Сверла из быстрорежущей стали (ГОСТ 4010-77 (в ред. 1988 г.))

Двойная заточка

Диаметр сверла, $d$ , мм	Разновидность заточки	Эскиз	Обработка
Св. 12 до 80	Двойная с подточкой и срезанной поперечной кромкой (ДП-2)		Чугун со снятой коркой

Диаметр сверла $d$ , мм	Заточка		Подточка поперечной кромки		Срез перемычки		Подточка ленточки
	$\alpha$ , °	$b$ , мм	$a$ , мм	$l$ , мм	$h$ , мм	$K$ , мм	$l_1$ , мм
Св. 12,0 до 16,0	12	2,5	1,5	3	1,5	2,3	1,5
Св. 16,0 до 20,0	11	3,5	2,0	4	2,0	2,9	
Св. 20,0 до 25,0		4,5	2,5	5	2,5	3,6	2,0
Св. 25,0 до 31,5		5,5	3,0	6	3,3	4,5	
Св. 31,5 до 40,0		7,0	3,5	7	3,5	5,3	3,0
Св. 40,0 до 50,0		9,0	5,0	9	4,0		
Св. 50,0 до 63,0		11,0	6,0	11			
Св. 63,0 до 71,0		13,0	7,0	13			4,0
Св. 71,0 до 80,0	15,0	8,0	15				

Сверла для обработки легких сплавов (ГОСТ 19543-74 (в ред. 1988 г.))

Диаметр сверла, $d$ , мм	Разновидность заточки	Эскиз	Используют при сверлении отверстий
1...30	Нормальная (Н). (Форма 1)		Глубиной до 4d



Продолжение табл. 5

## Сверла для обработки легких сплавов (ГОСТ 19543-74 (в ред. 1988 г.))

Диаметр сверла, $d$ , мм	Разновидность заточки	Эскиз	Используют при сверлении отверстий
6...30	Нормальная с подточкой поперечной кромки (НП). (Форма II)		Глубиной до $4d$ в деталях из алюминиевых сплавов (кроме Д16)
1...12	Нормальная с углом $2\varphi = 140^\circ$ . (Форма III)		В тонкостенных деталях и пакетах листов
3...30	С подточкой по режущей поверхности и углом $2\varphi = 130^\circ$ . (Форма IV)		Глубиной более $4d$ в деталях из алюминиевых сплавов типа Д16
		$d$ , мм	$a$ , мм
		Св. 3 до 6	0,4...0,5
		« 6 « 10	0,6...0,8
		« 10 « 15	1,0...1,2
		« 15 « 20	1,2...1,5
		« 20 « 30	1,5...2,0

Продолжение табл. 5

Сверла для обработки легких сплавов (ГОСТ 19543-74 (в ред. 1988 г.))

Диаметр сверла, $d$ , мм	Разновидность заточки	Эскиз	Используют при сверлении отверстий
1...30	С подточкой режущей поверхности и углом $2\varphi = 90^\circ$ . (Форма V)		В деталях из магниевых сплавов типа МЛ5

Примечание. У сверл диаметром до 2,95 мм заточка плоская, более 2,95 мм – коническая.

Сверла оснащенные пластинами из твердого сплава (ГОСТ 22735-77 (в ред. 1983 г.))

Диаметр сверла, $d$ , мм	Разновидность заточки	Эскиз
До 11,9	Нормальная (Н)	
От 5,0 до 30,0	Нормальная с подточкой поперечной кромки (НП)	

## Сверла оснащенные пластинами из твердого сплава (ГОСТ 22735-77 (в ред. 1983 г.))

Диаметр сверла, $d$ , мм	Разновидность заточки	Эскиз
От 5,0 до 30,0	Заточка алмазными кругами (НА)	
Св. 11,9 до 30,0	Двойная (Д)	
Св. 11,9 до 30,0	Двойная с подточкой поперечной кромки (ДП)	

Продолжение табл. 5

Сверла оснащенные пластинами из твердого сплава (ГОСТ 22735-77 (в ред. 1983 г.))

Диаметр сверла $d$ , мм	Заточка		Подточка поперечной кромки		
	$f_1$ , мм	$n$ , мм	$a$ , мм		
5,0	0,5	1,0	0,4		
Св. 5,0 до 6,0			0,6		
« 6,0 « 6,2			0,64		
« 6,2 « 6,9		1,5	0,72		
« 6,9 « 7,9			0,8		
« 7,9 « 10,10			2,0	1,0	
« 10,10 « 10,50	2,5	1,2			
« 10,50 « 11,90		1,4		1,4	
« 11,90 « 12,1				1,6	1,6
« 12,1 « 14,00			1,8		1,8
« 14,00 « 14,50	3,0	2,0		2,0	
« 14,50 « 18,25			1,0	2,5	1,4
« 18,25 « 21,00	1,5	3,0			1,6
« 21,00 « 23,00			1,8	3,0	1,8
23,25	1,5	3,0			1,8
Св. 23,25 до 24,75			2,0	3,0	2,0
« 24,75 « 27,75					2,0
« 27,75 « 30,0					

Сверла для обработки труднообрабатываемых материалов (ГОСТ 20694-75 (в ред. 1983 г.))

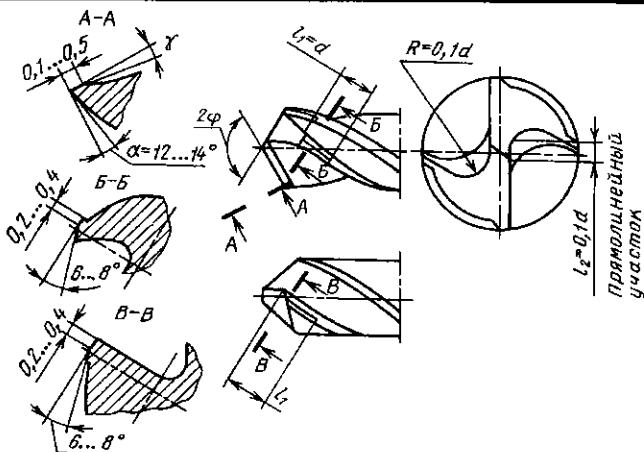
Для сверл	Эскиз
типа 1 (с двумя ленточками)	

## Сверла для обработки труднообрабатываемых материалов (ГОСТ 20694-75 (в ред. 1983 г.))

Для сверл

Эскиз

типа 2 (с четырьмя ленточками)



Обрабатываемый материал

 $l_1, \text{ мм}$  $2\varphi, ^\circ$  $\gamma, ^\circ$  $l_2, \text{ мм}$ 

Жаропрочные сплавы

 $(0,1...0,12)d$ 

125...130

5

 $\approx d$ 

Титановые сплавы

 $(0,08...0,1)d$ 

130...135

0

Высокопрочные конструкционные стали

 $(0,12...0,14)d$ 

## Цельные твердосплавные сверла (ГОСТ 17274-71 (в ред. 1987 г.))

Диаметр сверла  $d, \text{ мм}$  $a, \text{ мм}$ 

Эскиз

От 1,0 до 3,0

0,16d

« 3,0 « 6,0

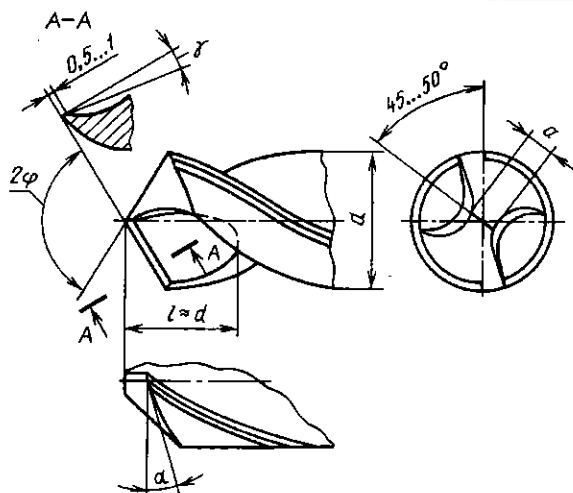
0,15d

« 6,0 « 9,0

0,14d

« 9,0 « 12,0

0,13d



Окончание табл. 5

## Цельные твердосплавные сверла (ГОСТ 17274-71 (в ред. 1987 г.))

Обрабатываемый материал	$2\phi, ^\circ$	$\alpha, ^\circ$	$\gamma, ^\circ$
Коррозионно-стойкие легированные стали, кованые изделия	120...140	10...12	-5...0
Углеродистые легированные закаленные стали $\sigma_b \leq 2000$ Н/мм <sup>2</sup>	130	8...10	-10...0
Титановые сплавы	120...140	12...14	-5...5
Стекловолокно, пластики	90...110	15...20	10...20

Примечание. Допускается двухплоскостная заточка сверл.

## 6. Геометрические параметры сверл из быстрорежущей стали и твердого сплава в зависимости от обрабатываемого материала, °

Обрабатываемый материал	Сверла						
	из быстрорежущей стали				из твердого сплава		
	$2\phi$	$\psi$	$\alpha$	$\omega$	$\gamma$	$2\phi$	$2\phi_0$
Сталь:							
конструкционная, 170...196 НВ	118	45...55	12...15	24...32	0	120...140	-
инструментальная, 240...400 НВ	118...150		7...15				
Коррозионно-стойкая сталь и сплавы	127	50...55	12...14	31...35		120	-
Сплавы:							
медные и алюминиевые	90...150	45...55	12...17	10...50	(-5...15)	130...135	-
титановые	135...140	50...55	12	30	0	-	50
Чугун, 200...400 НВ	90...150	45...55	7...15	24...32	0...7	120...140	70...75

Обрабатываемый материал	Сверла						
	из быстрорежущей стали				из твердого сплава		
	2φ	ψ	α	ω	γ	2φ	2φ <sub>0</sub>
Пластмассы:							
порошковые	30...35					50...60	
волокнистые	45...50	45...55	14...16	8...20	0...2	60...70	—
слоистые	70...80					90...100	

Примечания: 1. Для сверл из быстрорежущей стали:

при обработке коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов сверла должны обладать повышенной прочностью и жесткостью по сравнению со стандартизованными сверлами, поэтому толщина их сердцевины увеличена  $[(0,3...0,4)d]$ , а длина режущей части уменьшена (менее  $10d$ );

бóльшие значения угла  $2φ$  и меньшие значения заднего угла  $α$  принимать для более твердых материалов;

значения угла  $ω$  наклона винтовой канавки приведены для вновь проектируемых сверл; для стандартизованных сверл диаметром  $d = 0,25...50$  мм  $ω = 19...34°$  (меньшие значения  $ω$  соответствуют меньшим значениям  $d$ ).

2. Вспомогательный угол в плане  $φ$ ; задается обратной конусностью на рабочей части сверла в пределах  $0,03...0,10$  мм на 100 мм длины для сверл диаметром  $1...18$  мм и  $0,05...0,12$  мм для сверл диаметром более 18 мм.

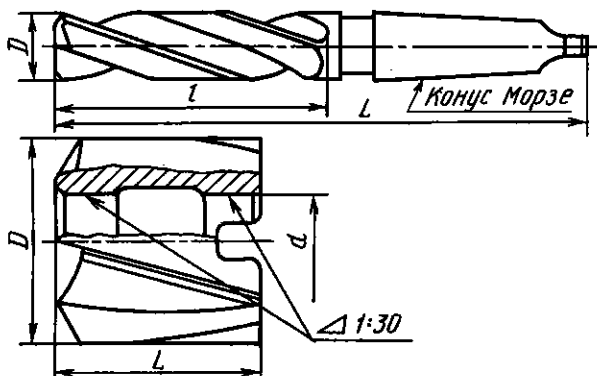
3. Для твердосплавных сверл:

задний угол  $α$  стандартизованных сверл диаметром  $d = 5...30$  мм такой же, как у спиральных сверл из быстрорежущей стали;

винтовая канавка у конца пластинки имеет угол наклона  $ω$ , а на пластинке выполняются прямые канавки; для стандартизованных сверл диаметром  $d = 5...30$  мм угол  $ω = 15...20°$ ;

вспомогательный угол в плане  $φ$ ; задается обратной конусностью на твердосплавных пластинках сверл; для сверл диаметром до 30 мм разница в диаметрах в начале рабочей части и в конце пластинки равна  $0,01...0,08$  мм; двойную заточку выполняют на длине переходного лезвия  $b = 0,2d$ .

## 7. Типы и основные размеры стандартизованных зенкеров и зенковок



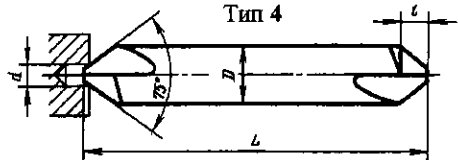
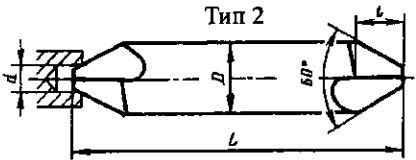
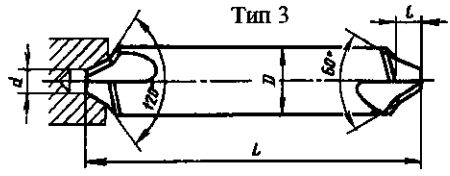
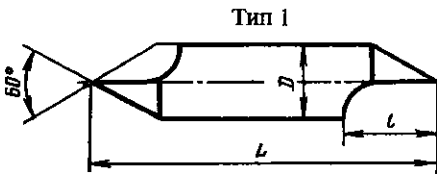
Продолжение табл. 7

Типы зенкеров и зенковок	ГОСТ	Основные размеры, мм			
		<i>D</i>	<i>d</i>	<i>L</i>	<i>l</i>
<b>Зенкеры для обработки</b>					
<i>деталей из чугуна и стали</i>					
цельные					
с коническим хвостовиком	12489-71 (в ред. 1992 г.)	7,8...50	—	156...369	75...220
насадные		24,7...50	13... 19	45...56	—
с цилиндрическим хвостовиком		3,0...19,7	—	61...206	33...140
оснащенные твердосплавными пластинами					
с коническим хвостовиком	3231-71 (в ред. 1987 г.)	11,75...50	—	175...355	94...210
насадные		31,6...80	13...32	45...65	—
насадные со вставными ножами из быстрорежущей стали	2255-71 (в ред. 1981 г.)	50...100	22...40	60...76	—
<i>деталей из легких сплавов</i>					
с цилиндрическим хвостовиком	21579-76	3,0...9,0	—	61... 125	33...81
торцовые	21580-76				
с коническим хвостовиком	21581-76	10...35	—	169...339	87... 190
торцовые	21582-76				
оснащенные твердосплавными пластинами	21583-76 (в ред. 1984 г.)	18...35	—	228...339	130... 190
насадные					
для сквозных отверстий	21584-76				
для глухих отверстий		36...80	16...32	50...80	—
оснащенные твердосплавными пластинами	21585-76 (в ред. 1984 г.)				
<i>сквозных отверстий в деталях из нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов</i>					
цельные твердосплавные					
с цилиндрическим хвостовиком	21543-76 (в ред. 1984 г.)	3,0...10,0	—	61...133	12...20
с коническим хвостовиком	21544-76 (в ред. 1984 г.)	7,8... 12	—	156...182	18...22

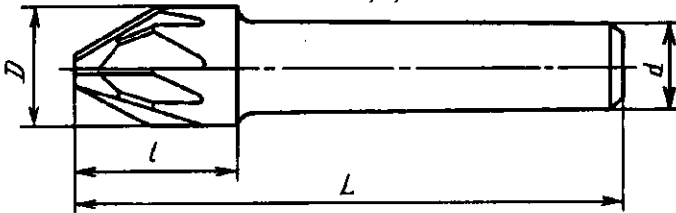


Продолжение табл. 7

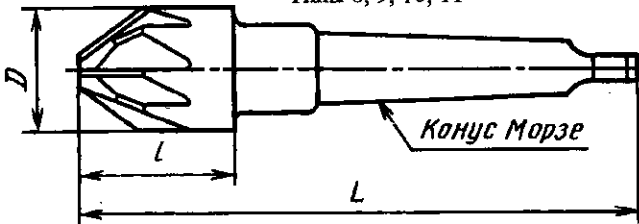
Типы зенкеров и зенковок	ГОСТ	Основные размеры, мм			
		$D$	$d$	$L$	$l$
оснащенные твердосплавными пластинами с коническим хвостовиком	21540-76 (в ред. 1984 г.)	12...50	—	182...369	101...220
		32...80	16...40	50...90	
насадные со вставками из жемчуга, оснащенные твердосплавными пластинами с коническим хвостовиком	21541-76 (в ред. 1984 г.)	30...50	—	262,5... 308	—
		50...80	22...32	58...69	



Типы 5, 6, 7



Типы 8, 9, 10, 11



Окончание табл. 7

Типы зенкеров и зенковок	ГОСТ	Основные размеры, мм			
		<i>D</i>	<i>d</i>	<i>L</i>	<i>l</i>
<b>Зенковки конические типов</b>					
1 – с углом при вершине 60° центровочные		5; 8	–	50; 60	10; 12
2 – центровочные для центровых отверстий с углом при вершине 60° без предохранительного конуса		5...16	2,0...6,3	45...71	3,0...9,5
3 – центровочные для центровых отверстий с углом при вершине 60° с предохранительным конусом 120°		5...25	0,8...6,3	35,5...71	0,82...6,5
4 – центровочные для центровых отверстий с углом при вершине 75° без предохранительного конуса		6,3; 8,0	2,0; 2,5	45; 50	3,1; 3,9
5 – с углом при вершине 60° с цилиндрическим хвостовиком	14953–80 (в ред. 1989 г.)			48...69	16...33
6 – с углом при вершине 90° с цилиндрическим хвостовиком		8...25	8; 10	44...65	12...29
7 – с углом при вершине 120° с цилиндрическим хвостовиком					
8 – с углом при вершине 60° с коническим хвостовиком		16...80		97...215	24...73
9 – с углом при вершине 75° с коническим хвостовиком		31,5...63	–	127...192	35...50
10 – с углом при вершине 90° с коническим хвостовиком		16...80		93...196	20...54
11 – с углом при вершине 120° с коническим хвостовиком					

Примечание. Все типоразмеры зенкеров выпускают в двух исполнениях, различающихся величиной диаметра:

- зенкеры № 1, предназначенные для обработки отверстий под черновые развертки;
- зенкеры № 2, предназначенные для окончательной обработки отверстий с полем допуска по Н11.

## 8. Геометрические параметры зенкеров, °

Обрабатываемый материал	γ при материале режущей части		α	φ	φ <sub>0</sub>	ω	f, мм
	быстрорежущая сталь	твердый сплав					
<b>Стали:</b> конструкционные и стальные отливки твердостью НВ: до 180 180...225 225...270 св. 270 коррозионно-стойкие, жаропрочная, жаростойкая закаленные с σ <sub>в</sub> = 1600...1800 МПа и 51 HRC	15...20	—	8...10	60	30	25...30	0,8...2,0
	12...15	0				10...20	
	5...10	0...-5					
	—	-10					
	0...3	—	6...15	30...45	15...20	15...20	0,5...1,0
—	-15	10	60	15	10...20	0,8...2,0	
<b>Сплавы:</b> жаропрочные титановые алюминиевые и медные магниевые	10	—	8...10	30	—	10...20	0,5...1,0
	4...6		9...11	45		20	0,3...0,5
	25...30	10...20	10	60		10...20	0,8...2,0
	25...30	—	10	45...60		20...25	0,5...1,0

**П р и м е ч а н и я:** 1. Для увеличения стойкости зенкеров необходимо:  
выполнять переходную режущую кромку длиной  $l = 3t$  ( $t$  — глубина резания) под углом  $\varphi_0$ ; подтачивать ленточки у быстрорежущих зенкеров на длине 1,5...2,0 мм от вершины зенкера;  
затачивать заднюю поверхность по двум плоскостям, под углом  $\alpha = 8...10^\circ$  на длине 0,6...1,5 мм, а остальную часть под углом  $\alpha_1 = 15...20^\circ$ ;

при обработке чугуна твердосплавными зенкерами углы  $\alpha = 10...17^\circ$  и  $\alpha_1 = 20...25^\circ$ .

2. Отрицательный передний угол у твердосплавных зенкеров образуется созданием фаски шириной 1,5...3,0 мм на передней поверхности.

3. Угол наклона режущего лезвия  $\lambda$ , °: 0 — для обработки стали, бронзы; 3...5 — для создания условий лучшего отвода стружки; 12...20 — для усиления режущего лезвия на зенкерах, оснащенных твердым сплавом.

4. Для обработки твердых материалов используют инструменты с меньшими значениями углов  $\alpha$ ,  $\omega$  и  $\lambda$ ; для обработки мягких материалов — с большими значениями этих углов.

5. Рекомендуются следующие значения геометрических параметров зенкеров, °: сборных с ножами из быстрорежущей стали и оснащенных твердым сплавом —  $\gamma = 3$ ,  $\alpha = 6...8$ ,  $\alpha_1 = 15...20$ ; быстрорежущих —  $\varphi = 45...60$  и  $\omega = 20$ ; твердосплавных  $\varphi = 60$ ,  $\varphi_0 = 30$  и  $\omega = 12...15$ .

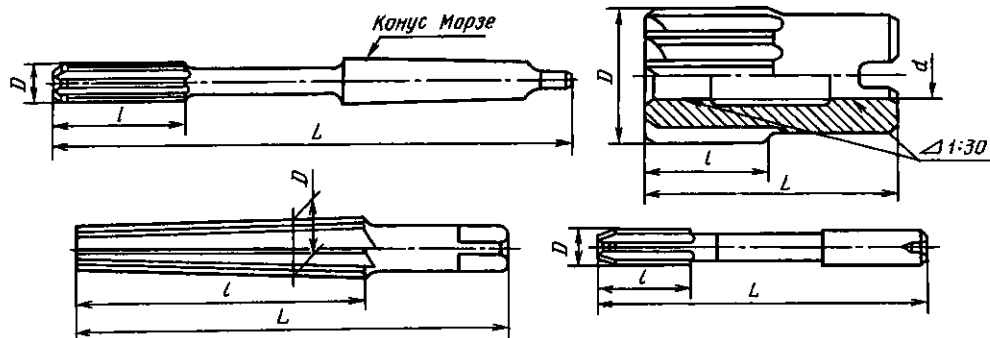
6. Для зенкерования отверстий с прерывистыми стенками  $\omega = 20...30^\circ$  (независимо от материала обрабатываемой детали).

## РАЗВЕРТКИ

С помощью разверток получают отверстия цилиндрической и конической формы, точность которых соответствует в осевом б — 9-му качеству при шероховатости  $Ra = 0,63...1,25$  мкм, а

при особо тщательном выполнении операций развертывания — 5-му качеству при шероховатости поверхности  $Ra = 0,16...0,32$  мкм. Основные размеры и геометрические параметры режущей части разверток приведены в табл. 9 — 12.

## 9. Основные типы стандартизованных разверток



Типы разверток	ГОСТ	Основные размеры, мм			
		$D$	$d$	$L$	$l$
<b>Машинные цельные</b> <i>с цилиндрическим хвостовиком</i> <i>с коническим хвостовиком</i> <i>насадные</i>	1672–80 (в ред. 2003 г.)	1,4...20	–	40...195	8...60
		5,5...50	–	138...344	26...86
		25...50	13...22	45...63	32...45
<b>Машинные с удлиненной рабочей частью</b> <i>с цилиндрическим хвостовиком</i> <i>с коническим хвостовиком</i>	11172–70 (в ред. 1984 г.)	3...10	–	80...140	25...80
		7...50	–	134...380	54...210
<b>Машинные цельные из твердого сплава</b> <i>с цилиндрическим хвостовиком</i> прямыми канавками винтовыми канавками <i>с коническим хвостовиком</i> прямыми и винтовыми канавками	16086–70 (в ред. 1981 г.)	1...10	–	60...100	12...20
		3...10	–	60...100	12...20
	16087–70 (в ред. 1981 г.)	6,5...12	–	120...150	18...22
<b>Машинные котельные с коническим хвостовиком</b>	18121–72 (в ред. 1996 г.)	6,4...40	–	155...375	75...230
<b>Машинные цилиндрические, для обработки отверстий в деталях из легких сплавов</b> <i>с цилиндрическим хвостовиком</i>	19267–73 (в ред. 1982 г.)	6...9,5	–	93...125	26...36

Продолжение табл. 9

Типы разверток	ГОСТ	Основные размеры, мм			
		<i>D</i>	<i>d</i>	<i>L</i>	<i>l</i>
<i>с коническим хвостовиком</i>	19268–73 (в ред. 1982 г.)	10...32	–	168...240	16...77
<i>насадные</i>					
<i>с прямыми зубьями</i>	20388–74 (в ред. 1983 г.)				
<i>с торцовыми зубьями</i>	20390–74 (в ред. 1983 г.)	25...80	13...40	45...90	32...63
<i>с винтовыми зубьями</i>	20389–74 (в ред. 1983 г.)				
<i>насадные со вставными ножами из быстрорежущей стали</i>	20392–74 (в ред. 1983 г.)	40...80	16...32	54...84	28...36
<b>Машинные со вставными ножами из быстрорежущей стали</b>					
<i>с коническим хвостовиком</i>	883–80 (в ред. 1984 г.)	32...50	–	292...344	38...45
<i>насадные</i>		40...100	16...40	63...90	40...56
<b>Машинные со вставными ножами, оснащенными твердосплавными пластинками, для обработки сквозных отверстий в деталях из нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов</b>					
<i>насадные</i>	21527–76 (в ред. 1984 г.)	50...80	22; 27; 32	58...68	26; 32
<b>Машинные, оснащенные твердосплавными наплавляемыми пластинами</b>					
<i>с коническим хвостовиком</i>	28321–89	10...32	–	140...240	16...22
<i>насадные</i>		25...80	13...32	45...80	22...32
<b>Сборные с привернутыми ножами, оснащенные пластинками из твердого сплава</b>					
<i>насадные</i>	11176–71 (в ред. 1984 г.)	52...300	22...80	55...100	25...58
<b>Ручные цилиндрические</b>	7722–77 (в ред. 1981 г.)	1...71	–	38...406	18...203
<b>Ручные разжимные</b>	3509–71 (в ред. 1982 г.)	8...50	–	110...380	50...150
<b>Машинные конические конусностью 1 : 5</b>					
<i>с цилиндрическим хвостовиком</i>	10081–84 (в ред. 1986 г.)	2...12	–	86...290	48...210
<i>с коническим хвостовиком</i>		5...50	–	155...550	73...360

Окончание табл. 9

Типы разверток	ГОСТ	Основные размеры, мм			
		<i>D</i>	<i>d</i>	<i>L</i>	<i>l</i>
Машинные конические конусностью 1 : 30	10082-71 (в ред. 1985 г.)	13...100	—	160...460	80...216
Конические под конусы Морзе <i>с цилиндрическим хвостовиком</i>	11182-71 (в ред. 1986 г.)	—	—	95...310	64...205
	10079-71 (в ред. 1995 г.)			140...385	
Конические под укороченные конусы Морзе	11181-71	—	—	55...170	24...90
Конические под метрические конусы конусностью 1 : 20 <i>с цилиндрическим хвостовиком</i>	11183-71 (в ред. 1995 г.)	—	—	50...385	32...260
	10080-71 (в ред. 1995 г.)	—		105...505	
Машинные конические конусностью 1 : 16 с коническим хвостовиком	6226-71 (в ред. 1985 г.)	—	—	100...230	20...52
Конические конусностью 1 : 10	11179-71	—	—	160...300	90...180
Конические конусностью 1 : 7	11180-71	—	—	100...240	60...145
Ручные конические конусностью 1 : 50 с цилиндрическим хвостовиком	11177-84 (в ред. 1986 г.)	—	—	38...460	20...360
Ручные конические конусностью 1 : 30 с цилиндрическим хвостовиком	11184-84 (в ред. 1986 г.)	—	—	120...250	80...168

## 10. Рекомендуемые для разверток величины переднего и заднего углов, °

Обрабатываемый материал	Материал режущей части				$\alpha_1$
	быстрорежущая сталь	твердый сплав	быстрорежущая сталь	твердый сплав	
Сталь незакаленная	0	0...-5	6...12	6...8	10...20
Сталь закаленная, 50 HRC	—	-10...-15	—	6	10...15
Сталь коррозионно-стойкая, жаропрочная и жаростойкая	0	5	5...8		

Окончание табл. 10

Обрабатываемый материал	Материал режущей части				$\alpha_1$
	Быстроре- жущая сталь	Твердый сплав	Быстроре- жущая сталь	Твердый сплав	
	$\gamma$		$\alpha$		
Жаропрочные сплавы	0	0	6...10	6	10...15
Титановые сплавы			8...10	10	
Чугун	0	0...-5	6...8	10...17	15...30
Алюминиевые и медные сплавы		-	10...12	-	
Магниевые сплавы	-	0	-	14	
Пластмассы с абразивным на- полнителем	-	0	-	14	

## Примечания:

1. Большие значения переднего угла соответствуют черновым разверткам и разверткам малого диаметра, а меньшие значения – чистовым разверткам.

2. Отрицательный передний угол создается на длине фаски 0,2...0,3 мм (для развертывания закаленной стали – 2...3 мм), а на остальной части  $\gamma = 0^\circ$ .

## 11. Величина угла в плане, °

Вид развертки	Вид отверстия	Материал заготовки (развертки)	$\varphi$
Ручная	сквозное	хрупкий и вязкий	0,5...2
	глухое	любой	45
Машинная	сквозное	хрупкий, твердый, труднообрабатываемый	3...5
	сквозное	вязкий	12...15
	глухое	любой	60
		любой (твердый сплав)	15 (с заточкой фаски 45°)
Котельная	сквозное	любой	1,5...3

## 12. Значения угла наклона стружечных канавок разверток, °

Обрабатываемый материал и тип развертки	$\omega$
Серый чугун или твердая сталь	7...8
Ковкий чугун или сталь средней твердости	12...20
Алюминий или легкие сплавы	35...45
Котельные развертки	22...28
Регулируемые развертки	3

*Развертки сборной конструкции.* По сравнению с цельными и составными неразборными, сборные развертки позволяют экономить дорогостоящий инструментальный материал, что особенно существенно для разверток больших диаметров (100...300 мм), восстанавливать исходный размер развертки при уменьшении наружного диаметра вследствие износа, многократно использовать корпус развертки, применяя запасные комплекты ножей. Недостатками сборных разверток являются: сложность конструкции и необходимость доводки по наружному диаметру после перестановки ножей и их регулирования.

На рис. 1 и 2 показаны некоторые конструкции сборных разверток. В конструкции (рис. 1, а) клиновой нож 2 с углом клина в  $5^\circ$  и с рифлениями в осевом направлении запрессовывается вдоль оси в корпус развертки 1. Диаметр развертки изменяют переставлением ножей в радиальном направлении в соседнее рифление.

Конструкция (рис. 1, б) позволяет более тонко регулировать величину диаметра развертки за счет базирования ножей 2 по диаметру наклонного (под углом  $3^\circ$  к оси) паза в корпусе 1. Рифления, выполненные на ножах и в корпусе в радиальном направлении, позволяют регулировать размер развертки путем перестановки ножей в соседнее рифление в осевом направлении. Кроме того, рифления предотвращают сдвиг ножей при их закреплении, которое производится клином 3 в осевом направлении.

В пазах корпуса 1 (рис. 1, в) под углом  $3^\circ$  установлены гладкие ножи 2. Регулирование величины диаметра производится за счет

перемещения ножей вдоль оси развертки при помощи гайки 4, которая фиксируется контргайкой 5. Фиксирование ножей производится винтом 6 через цилиндрическую втулку 7, которая упирается в шлифованные лыски на двух соседних ножах.

Конструкция (рис. 2, а) отличается от конструкции (рис. 1, в) способом фиксации ножей с помощью винтов 6 и сектора кольца 7.

В конструкции (рис. 2, б) базирование ножей 2 осуществляется по наклонным рифам, выполненным в корпусе 1. Предварительное (грубое) регулирование величины диаметра развертки производится за счет перестановки ножей в соседнее рифление в радиальном направлении. Точное регулирование производится за счет перемещения ножей вдоль оси развертки при помощи гайки 4, которая стопорится контргайкой 5. Для зажима ножа применен кулачок 7, установленный в корпусе и зафиксированный закериванием.

*Разжимные развертки* позволяют путем разжима производить увеличение диаметра в определенных пределах. Такие развертки рекомендуются применять при ремонте, когда необходимо по отремонтированному валу изготовить отверстие. Стандартами предусмотрена конструкция разжимной развертки, в которой разжим осуществляется шариком при его вдавливании нажимным стержнем вдоль оси корпуса.

Формы заточки разверток отличаются большим разнообразием, некоторые формы заточки для наиболее распространенных разверток представлены в табл. 13.



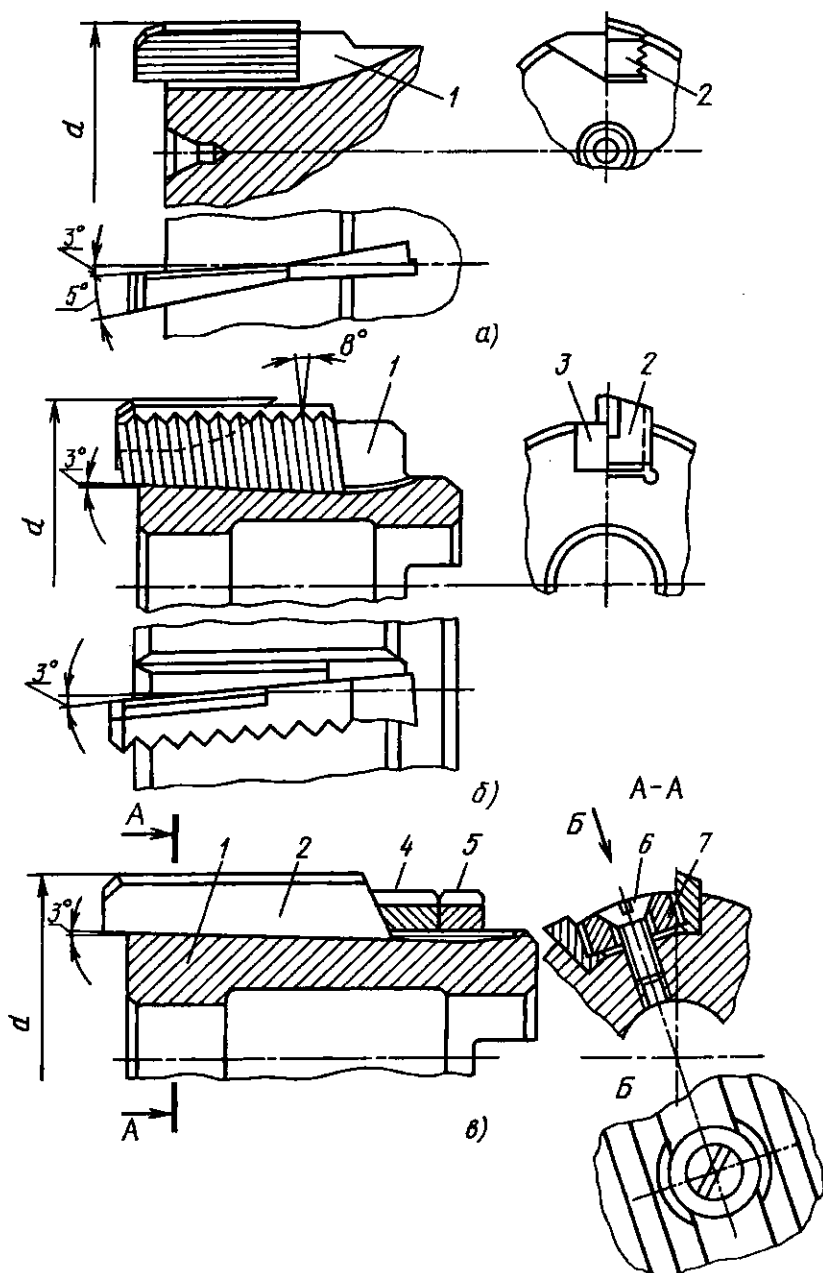


Рис. 1. Конструкции сборных разверток:

1 – корпус развертки; 2 – нож; 3 – клин; 4 – регулировочная гайка;  
5 – контргайка; 6 – винт; 7 – втулка

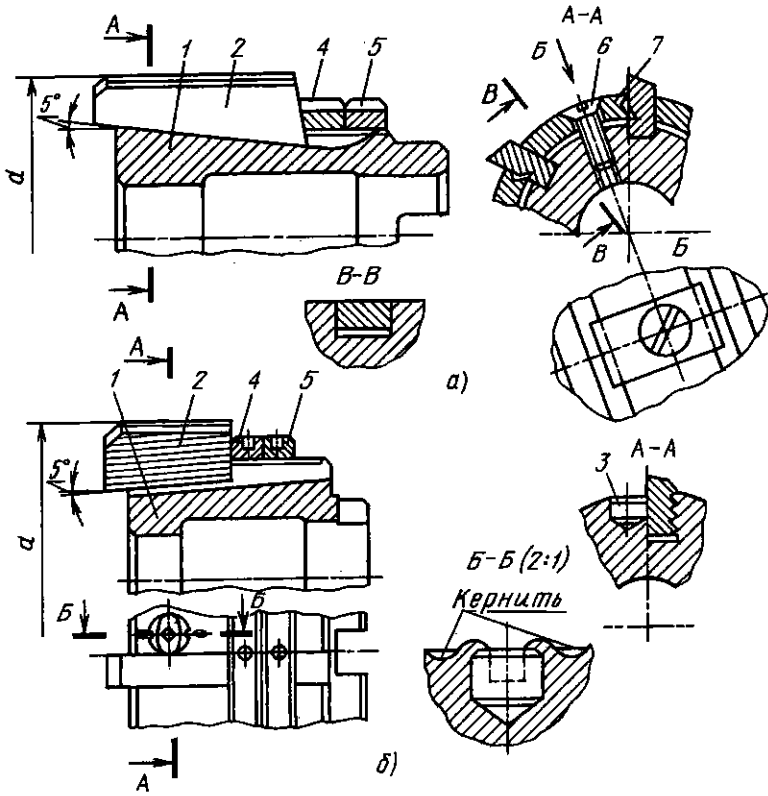
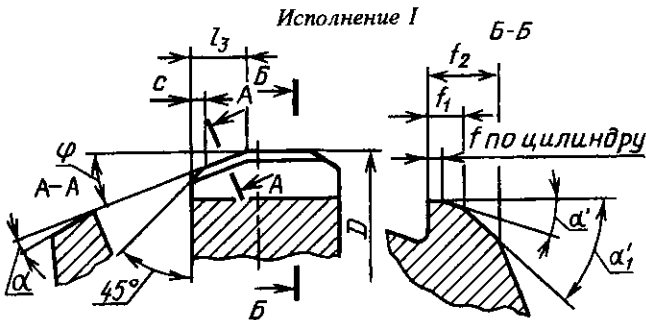


Рис. 2. Конструкции сборных разверток:

1 – корпус развертки; 2 – нож; 3 – фиксирующий кулачок; 4 – регулировочная гайка; 5 – контргайка; 6 – винт; 7 – сектор кольца

13. Формы заточек и размеры режущих элементов цилиндрических разверток

Развертки для сквозных отверстий



Заборная часть с углом в плане  $\varphi = 3^\circ$ ,  $\varphi = 5^\circ$  или  $\varphi = 15^\circ$

Продолжение табл. 13

Развертки машинные цельные ГОСТ 1672-80 (в ред. 2003 г.) и машинные с удлиненной рабочей частью ГОСТ 11172-70 (в ред. 1984 г.)

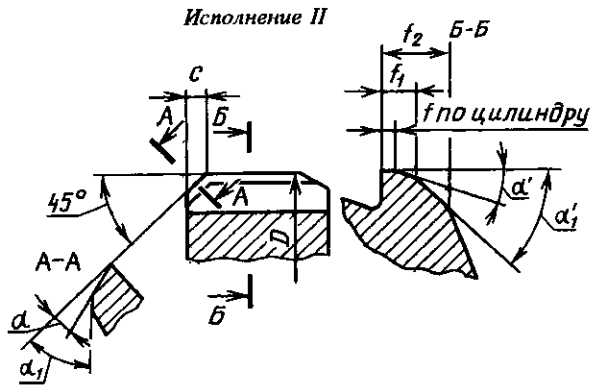
D, мм	l <sub>3</sub> , мм, для φ			с, мм	f, мм	f <sub>1</sub> , мм	f <sub>2</sub> , мм	α, °	α', °	α'' <sub>1</sub> , °
	3°	5°	15°							
Св. 1,4 до 1,8	-	1,5	0,8	-	0,1	0,25...0,45	-	15	15	-
« 1,8 « 4,0										
« 4,0 « 6,0										
« 6,0 « 8,0										
« 8,0 « 10,0		2,0	1,0	1,0	0,15	0,4...0,6		12	12	
« 10,0 « 17,0										
« 17,0 « 24,0		4,5	2,5	2,0	0,20	0,6...0,9		10	10	
« 24,0 « 30,0										
« 30,0 « 34,0		6,5	3,5	2,0	0,30	0,8...1,2		10	10	
« 34,0 « 40,0										
« 40,0 « 45,0										
« 45,0 « 50,0										
					1,0...1,4					
					1,2...1,6					
					1,3...1,8					
					1,5...2,0					
					1,6...2,1					
					1,8...2,4					

Развертки машинные со вставными ножами из быстрорежущей стали по ГОСТ 883-80 (в ред. 1984 г.)

D, мм	l <sub>3</sub> , мм, для φ			с, мм	f, мм	f <sub>1</sub> , мм	f <sub>2</sub> , мм	α, °	α', °	α'' <sub>1</sub> , °
	3°	5°	15°							
32,0...38,0	-	6,5	3,5	2,0	0,30	по толщине ножа	-	10	12	-
40,0...50,0					0,35					
52,0...65,0		8,0	4,5	3,0	0,40					
68,0...100,0		9,0	5,0							

Развертки машинные цельные из твердого сплава по ГОСТ 16086-70 (в ред. 1981 г.), 16087-70 (в ред. 1981 г.)

1,0...2,8	-	-	-	-	0,03...0,05	0,1...0,35	0,25...0,7	-	см. α в табл. 10	см. α <sub>1</sub> в табл. 10
3,0...3,8					0,05	0,2...0,3	0,6...0,7			
4,0...5,5		2,5	1,0			0,3...0,4	0,8...1,1			
6,0					4,0	2,0	0,4...0,5			
6,3...7,5		0,15	1,7...1,8							
8,0							0,5...0,6			
8,5; 9,0		5,0	2,5							
9,5; 10,0										
10,5...12,0										



Заборная часть с углом в плане  $\phi = 45^\circ$

Развертки машинные цельные ГОСТ 1672-80 (в ред. 2003 г.) и машинные с удлиненной рабочей частью ГОСТ 11172-70 (в ред. 1984 г.)

D, мм	c, мм	f, мм	f <sub>1</sub> , мм	f <sub>2</sub> , мм	$\alpha$ , °	$\alpha'$ , °	$\alpha_1$ , °	$\alpha'_1$ , °
От 10,0 до 17,0	1,0	0,20	0,4...1,2	-	10	10	-	-
Св. 17,0 до 24,0			1,0...1,4					
« 24,0 « 30,0			1,2...1,6					
« 30,0 « 34,0	0,30	1,3...1,8						
« 34,0 « 40,0		1,5...2,0						
« 40,0 « 45,0		0,35	1,6...2,1					
« 45,0 « 50,0	1,8...2,4							

Машинные со вставными ножами из быстрорежущей стали по ГОСТ 883-80 (в ред. 1984 г.)

32,0...38,0	1,5	0,30	-	-	10	12	-	-
40,0...50,0		0,35						
52,0...100,0	2,0	0,40						

Машинные, оснащенные твердосплавными наплавляемыми пластинами по ГОСТ 28321-89

От 10,0 до 15,0	1,0	0,15...0,25	по толщине пластины	-	15	15	25	25
Св. 15,0 до 25,0					10	10		
« 25,0 « 50,0					0,20...0,40			20

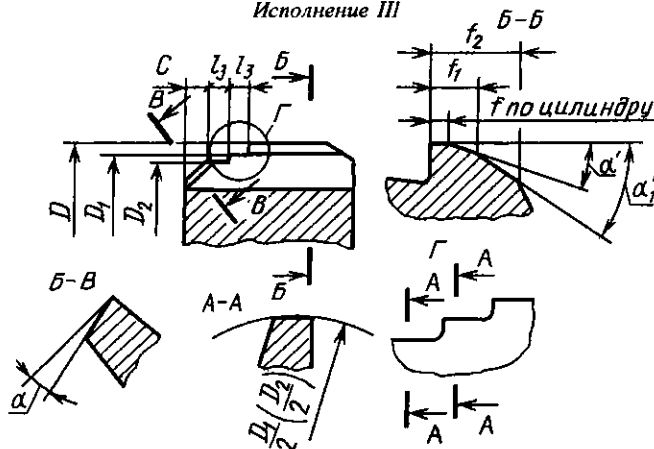
Продолжение табл. 13

Развертки машинные цельные из твердого сплава  
по ГОСТ 16086-70 (в ред. 1981 г.), 16087-70 (в ред. 1981 г.)

3,0...3,8	1,0	0,05	0,2...0,3	0,6...0,7	-	см. $\alpha$ в табл. 10	-	см. $\alpha_1$ в табл. 10
4,0...5,5			0,3...0,4	0,8...1,1				
6,0			0,4...0,5	1,2...1,7				
6,3... 8,0			0,5...0,6	1,7...1,8				
8,5...10,0			0,6...0,8	2,0				
10,5...12,0								

Развертки с торцовыми зубьями для глухих отверстий

Исполнение III



Заборная часть ступенчатая (кольцевая)

Развертки машинные цельные по ГОСТ 1672-80 (в ред. 2003 г.) и  
машинные с удлиненной рабочей частью по ГОСТ 11172-70 (в ред. 1984 г.)

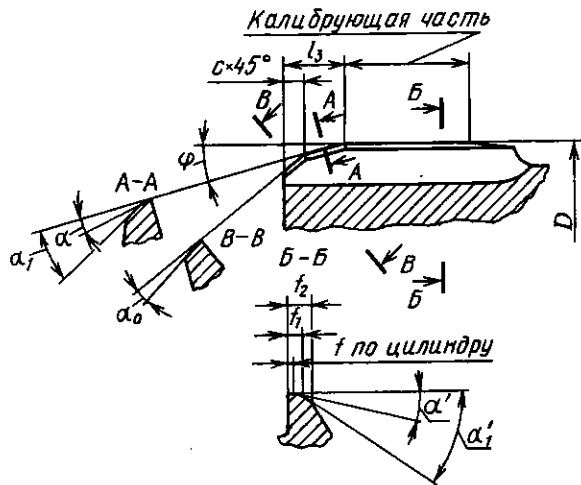
$D_3$ , мм	$D_1$ , мм		$D_2$ , мм		$l_3$ , мм	$c$ , мм	$f_3$ , мм	$f_1$ , мм	$f_2$ , мм	$\alpha$ , °	$\alpha'$ , °	$\alpha'_1$ , °	
	ном.	предоткл.	ном.	предоткл.									
10,0		-0,030		-0,030	2,0		0,15	0,6...0,9					
Св. 10,0 до 17,0		-0,035		-0,035			0,20	0,8...1,2					
« 17,0 « 24,0	$D_{-0,2}$		$D_{-0,5}$		3,0	2,0		1,0...1,4	-	10	-	-	
« 24,0 « 30,0							-0,045	-0,045					1,2...1,6
« 30,0 « 34,0							-0,050	-0,050					1,3...1,8

Продолжение табл. 13

D, мм	D <sub>1</sub> , мм		D <sub>2</sub> , мм		l <sub>3</sub> , мм	c, мм	f, мм	f <sub>1</sub> , мм	f <sub>2</sub> , мм	α, °	α', °	α' <sub>1</sub> , °
	ном.	предоткл.	ном.	предоткл.								
Св. 34,0 до 40,0	D <sub>-0,2</sub>	-0,050	D <sub>-0,5</sub>	-0,050	3,0	2,0	0,30	1,5...2,0	-	10	-	-
« 40,0 « 45,0							0,35	1,6...2,1				
« 45,0 « 50,0								1,8...2,4				

Машинные цилиндрические хвостовые для обработки деталей из легких сплавов по ГОСТ 19267-73 (в ред. 1982 г.), 19268-73 (в ред. 1982 г.), 19269-73 (в ред. 1982 г)

6,0	D <sub>-0,2</sub>	-0,018	D <sub>-0,4</sub>	-0,018	2,0	0,8	0,1	0,5	1,2...1,5	12	12	25
От 6,3 до 7,5		-0,022	D <sub>-0,5</sub>	-0,022								
Св. 7,5 до 9,5						2,0						
10,0		-0,027	-0,027	2,0		0,20						
10,5	-0,033	-0,033	3,0	0,30	2,6							
11,0	-0,039	-0,039			3,0							
Св. 11,0 до 17,0					3,5							
18,0												
Св. 19,0 до 23,0												
« 23,0 « 30,0												
« 30,0 « 32,0												



Продолжение табл. 13

Машинные цилиндрические хвостовые для обработки деталей из легких сплавов  
ГОСТ 19267-73 (в ред. 1982 г.), 19268-73 (в ред. 1982 г.), 19269-73 (в ред. 1982 г.)

D, мм	l <sub>3</sub> , мм, для φ			с, мм	f, мм	f <sub>1</sub> , мм	f <sub>2</sub> , мм	α, α', °	α <sub>1</sub> , (α' <sub>1</sub> ) <sup>*1</sup> , °	α <sub>0</sub> <sup>*1</sup> , °				
	3°	5°	15°											
6,0	-	-	1,0(1,5)	1,0	0,10	0,5	1,2	12	-	(25)	12			
6,3; 6,5			2,0				1,5							
7,1; 7,5							1,7							
8,0; 8,5							1,8							
9,0; 9,5							2,0					1,5		
10,0...11,0			0,15				0,6							
11,5...19,0			2,5				1,5					0,18	0,8	2,2
20,0...24,0			3,0									0,22	1,0	3,0
25,0...30,0			3,5				2,0					0,30	1,2	
32,0			4,0				2,5						1,3	3,5

Машинные, оснащенные твердосплавными наплавляемыми пластинами по ГОСТ 28321-89:  
обработка деталей из конструкционных сталей и чугунов

От 10,0 до 15,0	-	4,5	2,5	1,0	0,15... 0,25	по разме- ру пла- стины	-	15	25 (25)	15		
Св. 15,0 до 25,0					0,20... 0,40			10		20 (20)	10	
« 25,0 « 32,0								4,0		2,0	10	20 (20)
« 32,0 « 50,0												

обработка деталей из легких сплавов

От 10,0 до 11,0	-	-	2,0	1,0	0,15	0,6	1,8	12	-	(25)	12
Св. 11,0 до 19,0			2,5	1,5	0,18	0,8	2,5				
« 19,0 « 25,0					3,0	0,22	1,0				
« 25,0 « 30,0			3,5	2,0	0,30	1,2	3,5				
« 30,0 « 32,0											

Ручные цилиндрические по ГОСТ 7722-77 (в ред. 1981 г.)

От 3,0 до 6,0	-	-	10...13	1,0	0,1	-	-	15	-	8
Св. 6,0 до 8,0			13...15		0,15					
« 8,0 « 10,0			15...16							
« 10,0 « 10,5			16	0,20						
« 10,5 « 22,0			18...26		1,5					
« 22,0 « 24,0			28							
« 24,0 « 25,0	31	0,30								
« 25,0 « 28,0										

Продолжение табл. 13

Ручные цилиндрические по ГОСТ 7722-77 (в ред. 1981 г.)

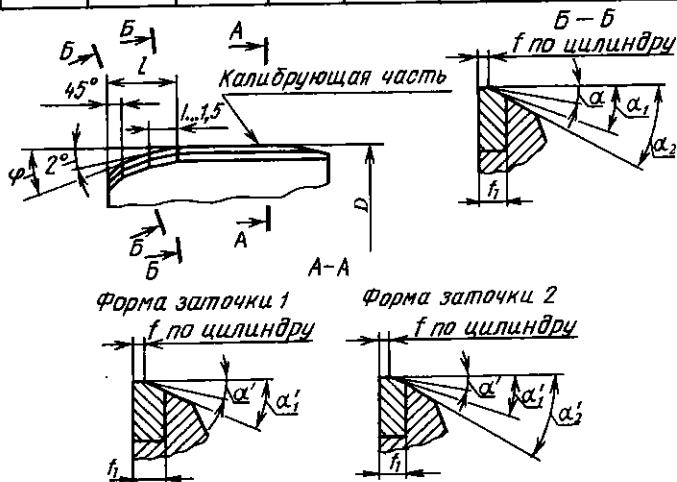
D, мм	l <sub>3</sub> , мм, для φ			c, мм	f, мм	f <sub>1</sub> , мм	f <sub>2</sub> , мм	α, α', °	α <sub>1</sub> , (α' <sub>1</sub> ) <sup>1</sup> , °	α <sub>0</sub> <sup>1</sup> , °			
	3°	5°	15°										
Св. 28,0 до 38,0	-	-	35	2,0	0,30	-	-	10	-	8			
« 38,0 « 40,0			42										
« 40,0 « 42,0			47										
« 42,0 « 50,0			52	2,5	0,40								
« 50,0 « 60,0											57	3,0	0,50
« 60,0 « 71,0													

Машинные насадные для обработки деталей из легких сплавов: цельные по ГОСТ 20388-74 (в ред. 1983 г.), 20389-74 (в ред. 1983 г.)

От 25,0 до 30,0	-	-	2,5	1,0	0,30	0,6	3,5	12	-	(25)	12	
Св. 30,0 до 35,5			3,5	2,0		0,8						
« 35,0 « 42,5			4,5	3,0	40	0,35	1,0					4,0
« 42,0 « 50,8						1,2	4,5					
« 50,0 « 60,0						5,0						1,4
« 60,0 « 71,0												
« 71,0 « 80,0												

со вставными ножами из быстрорежущей стали по ГОСТ 20392-74 (в ред. 1983 г.)

От 40,0 до 45,0	-	-	3	2,0	0,35	-	-	12	-	12
Св. 45,0 до 50,8										
« 50,8 « 65,0			4	2,5	0,40					
« 65,0 « 80,0										





Окончание табл. 13

Машины для обработки деталей из коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов, оснащенные твердосплавными наплавляемыми пластинами ГОСТ 28321-89

D, мм	l <sub>3</sub> <sup>*4</sup> , мм, для φ			c, мм	f <sup>*5</sup> , мм	f <sub>1</sub> , мм	α, °	α <sub>1</sub> , °	α <sub>2</sub> , °	α', °	α' <sub>1</sub> , °	α' <sub>2</sub> , °
	5°	15°	45°									
От 10 до 25	5 (6,5)	3,5 (4,0)	2,5	0,6	0,35 (0,2)	—	7	10	20	3* <sup>3</sup> . 7* <sup>2</sup>	7* <sup>3</sup> . 20* <sup>2</sup>	20* <sup>3</sup>
Св. 25 до 50						По размеру пластины						

\*<sup>1</sup> В скобках размеры для твердосплавных разверток по ГОСТ 19269-73 (в ред. 1982 г.).

\*<sup>2</sup> Для формы заточки № 1.

\*<sup>3</sup> Для формы заточки № 2.

\*<sup>4</sup> В скобках размеры для насадных разверток.

\*<sup>5</sup> размер без скобок – по режущей части, в скобках – по калибрующей.

Примечания:

1. Хвостовые развертки диаметром от 10 до 32 мм, насадные – от 32 до 50 мм.

2. Для ручных разверток угол в плане φ = 1°

## КОМБИНИРОВАННЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

Комбинированные инструменты для обработки отверстий сверлением, зенкерованием и развертыванием применяют на сверлильных, токарно-револьверных и агрегатных станках, многошпиндельных автоматах, полуавтоматах и на автоматических линиях. Их разделяют на две группы: инструменты для обработки предварительно подготовленных отверстий и инструменты для обработки отверстий в сплошном материале. Во второй группе инструментов первой ступенью является сверло.

Комбинированные инструменты классифицируют по профилю обрабатываемых отверстий, по типу комбинирования (однотипные и разнотипные), по виду и способу комбинирования режущих зубьев (с профильными зубьями, с зубьями, расположенными по отдельным ступеням, с чередующимися зубьями и смешанными зубьями); по конструктивным признакам (цельные и съемные); по характеру работы ступеней (с последовательной работой,

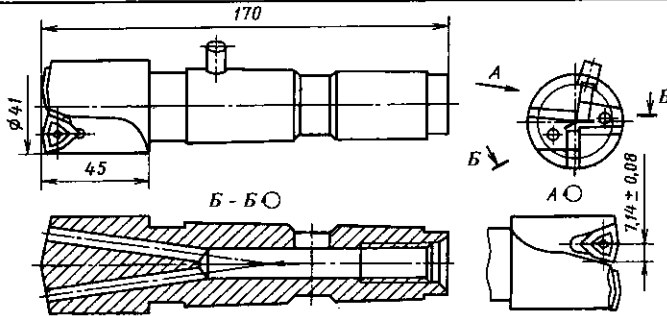
с одновременной работой и частично одновременной); по способу направления инструмента (по кондукторным втулкам – неподвижным, вращающимся или скользящим, по ранее обработанному отверстию и т.д.).

В зависимости от назначения и формы отверстий комбинированные инструменты, составленные из сверл, зенкеров и разверток, подразделяют на инструменты для обработки одного отверстия, отверстий «в линию», для черновой и чистовой обработки за одну операцию, для обработки отверстий и плоскостей. Конструкция комбинированного инструмента зависит от формы и размеров отверстия, расположения и числа отверстий при обработке «в линию», требуемой точности и шероховатости поверхности при последовательной обработке одного отверстия, припуска на обработку.

Некоторые конструкции нестандартизованных сверл и разверток приведены в табл. 14. В табл. 15 даны основные размеры ступенчатых сверл для одновременного снятия фаски и сверления отверстий под резьбу.

## 14. Нестандартизованные сверла и развертки, их назначение и размеры

Сверла



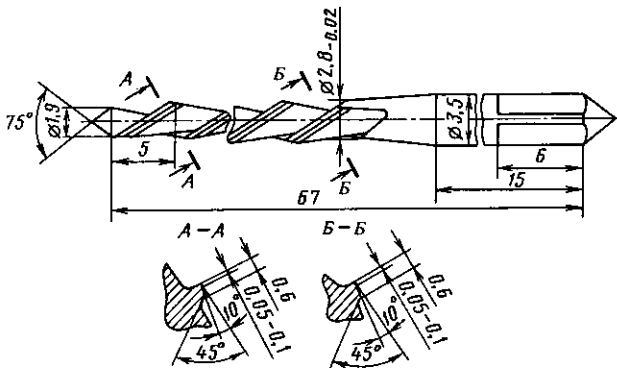
Сверла с многогранными твердосплавными пластинками и каналами для подвода СОЖ (конструкция ВНИИ) рекомендуются для обработки качественных конструкционных сталей и серого чугуна на станках с повышенной жесткостью

Материал		Рекомендуемые режимы обработки		
обрабатываемой заготовки	пластины	Номинальный диаметр сверла $D$ , мм	Скорость резания $v$ , м/мин	Подача $S_0$ , мм/об
Сталь конструкционная качественная, 187...229 НВ	T15K6; T5K10	От 36 до 42	80...100	0,06...0,1
	T14K8	Св. 42 до 60		0,1...0,25
Чугун серый, 163...241 НВ	BK8	От 36 до 42	60...90	0,08...0,2
		Св. 42 до 60		0,2...0,4

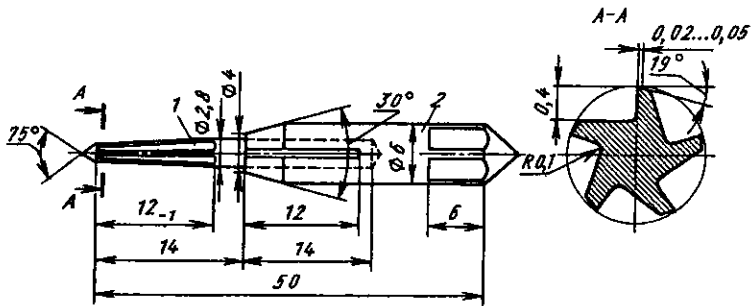
Примечания: 1. Глубина сверления до  $2D$ .

2. Расход СОЖ не менее 15...20 л/мин.

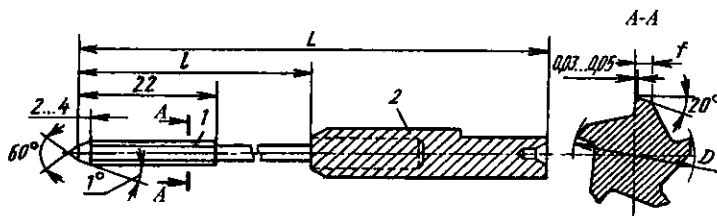
Развертки



Конические развертки с винтовыми зубьями для обработки отверстий под штифты конусностью  $1 : 50$ . Изготавливают с цилиндрическим и коническим хвостовиками. У разверток диаметром до 6 мм – цилиндрический хвостовик. Рекомендуемые размеры разверток с коническим хвостовиком:  $D = 6...50$  мм;  $L = 155...495$  мм;  $l = 80...355$  мм.



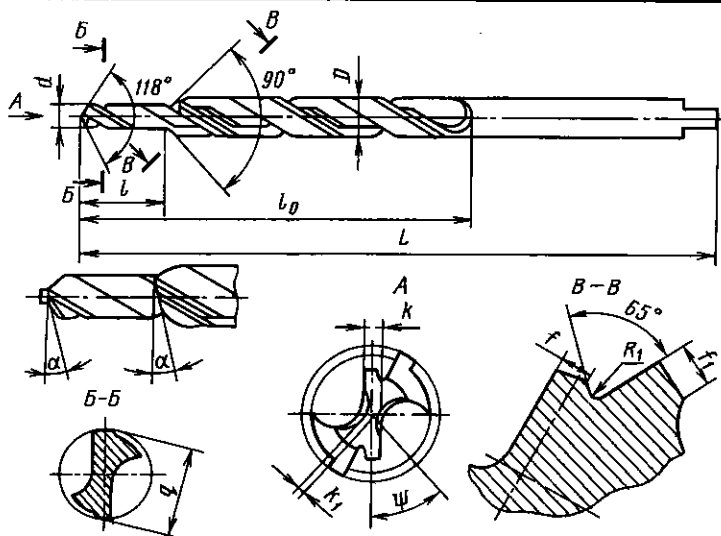
Конические твердосплавные развертки с прямыми зубьями для обработки отверстий малого диаметра: 1 – режущая часть из твердого сплава; 2 – державка



Цилиндрические твердосплавные развертки с прямым зубом для обработки отверстий диаметром 1...5 мм: 1 – режущая часть из твердого сплава; 2 – державка.

Основные размеры разверток диаметром 1...5 мм:  $L = 50...75$  мм;  $l = 22...25$  мм;  $f = 0,25...0,7$  мм

### 15. Основные размеры ступенчатых сверл конструкции ВНИИ с цилиндрическим хвостовиком для одновременного снятия фаски и сверления отверстий под резьбу, мм



Окончание табл. 15

Обозначение резьбы	$d$	$D$	$l$	$l_0$	$L$
М6...М10	5...9,1	8...13	18...36	90...120	145...175

Примечания:

1. Инструмент рекомендуется использовать на автоматических линиях и агрегатных станках.

2. Форма заточки показана на рисунке; параметры заточки:  $\alpha = 12^\circ$ ;  $\psi = 50^\circ$ ;  $g = 4,50...8,30$  мм;  $f = 0,66...0,90$  мм;  $f_1 = 0,80...1,30$  мм;  $R_1 = 0,30...0,50$  мм, где  $D$  – диаметр развертки;  $L$  – ее общая длина;  $l$  – длина рабочей части.

## РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ

Этап 1. Определение длины рабочего хода инструмента  $L_{р.х.}$ Длина рабочего хода определяется  $L_{р.х.} = L_p + L_n$ , где  $L_p$  – длина резания;  $L_n$  – величина подвода, врезания и перебега инструмента (табл. 16).16. Значения величины подвода, врезания и перебега  $L_n$ 

Выполняемая операция	Значения $L_n$ , мм, в зависимости от диаметра инструмента $D$ , мм										
	2,5	6	10	16	20	25	32	40	50	60	80
<b>Сверление:</b>											
сквозных отверстий сверлами											
с нормальной заточкой	2	3	5	6	8	10	12	15	–	–	–
с двойной заточкой	–	–	6	8	10	15	15	18	–	–	–
глухих отверстий	1,5	2	4	6	7	9	11	14	–	–	–
<b>Зенкерование:</b>											
сквозных отверстий	–	–	–	3	4	5	5	6	6	8	8
глухих отверстий	–	–	–	2	2	2	2	3	3	4	4
<b>Развертывание:</b>											
сквозных отверстий развертками с $\varphi =$											
15°	–	8	10	12	14	16	18	20	24	26	28
5°	–	10	12	15	17	20	22	25	28	32	34
глухих отверстий	–	2	3	3	3	3	4	4	4	5	5

Этап 2. Определение стойкости инструмента  $T_p$ Стойкость сверл, зенкеров и разверток определяется по формуле  $T_p = T_m \lambda$ , где  $T_m$  – стойкость в минутах основного времени работы станка (табл. 17),  $\lambda$  – коэффициент времени резания, определяемый выражением  $\lambda = L_p / L_{р.х.}$ . В случаях, когда  $\lambda > 0,7$ ,  $T_p = T_m$ .

## 17. Стойкость сверл, зенкеров и разверток в минутах основного времени

Диаметр инструмента $D$ , мм	до 10	10...15	15...20	20...30	30...50
Значение $T_m$ , мин	20	30	40	50	60

Этап 3. Определение подачи  $S_0$ .

Для сверления, зенкерования и развертывания рекомендуемая подача  $S_0$  определяется как  $S_0 = S_{0 \text{ табл.}} K_{\text{ТВ}}$ , где  $S_{0 \text{ табл.}}$  – значение подачи, выбираемое по табл. 21 (в которой даны значения подач для обработки сталей твердостью 175...229 НВ и чугуна твердостью до 230 НВ) в зависимости от группы подач, определенной по табл. 18 и 19;  $K_{\text{ТВ}}$  – коэффициент, учитывающий различную твердость обрабатываемого материала: для сталей

величины  $K_{\text{ТВ}}$ , приведены в табл. 20, для чугунов с твердостью > 230 НВ  $K_{\text{ТВ}} = 0,8$ .

После расчета необходимо уточнить величину  $S_0$  по паспортным данным станка.

Значения подач  $S_0$ , рекомендованные для сверл, оснащенных сменными многогранными пластинами, приведены в табл. 30.

При зенкерования и развертывании глухих отверстий подачу  $S_0$  принимать не более 0,5 мм/об.

## 18. Определенные группы подач для сверл, зенкеров и разверток

Содержание обработки	Условия обработки	Группа подачи
Сверление быстрорежущими спиральными сверлами	Сверление при $L_p/D \leq 3$ при жесткой технологической системе	I
	Сверление при $L_p/D \leq 3$ при пониженной жесткости технологической системы. Сверление при $L_p/D = 3...8$	II
	Сверление под резьбу, перед однократным развертыванием или чистовым зенкерованием	III
	Сверление при усложненных условиях обработки (наклонные поверхности, пересечения "косых" каналов и т.п.)	IV
Сверление спиральными сверлами, оснащенными твердым сплавом	Сверление глухих отверстий при жесткой технологической системе	II
	Сверление сквозных отверстий, сверление глухих отверстий при пониженной жесткости технологической системы	III
Зенкерование цилиндрических отверстий быстрорежущими инструментами	Черновое зенкерование	I
	Зенкерование под нарезание резьбы и черновое развертывание	II
	Зенкерование с точностью по 10, 11 квалитетам и под чистовое развертывание	III
	Зенкерование при усложненных условиях обработки	IV
Зенкерование цилиндрических отверстий твердосплавными инструментами	Черновое зенкерование	II
	Зенкерование под нарезание резьбы и развертывание	III
Развертывание цилиндрических отверстий	Черновое развертывание под последующее чистовое и однократное развертывание с точностью до 9 квалитета	I
	Развертывание с точностью выше 9 квалитета	II
	Развертывание развертками с торцовыми зубьями	III

19. Рекомендуемые группы подач  $S_0$  для обеспечения стойкости сверл  $T_p$ 

Диаметр сверла $D$ , мм	Минимальная группа подач для обеспечения стойкости $T_p$ , мин											
	20	30	40	50	90	120	150	180	210	240	300	св. 300
<i>Обработка стали</i>												
4...10	I	II		III		IV					—	—
10...16	I		II		III		IV				—	—
16...20	I			II		III		IV			—	—
20...32	I				II		III		IV		—	—
<i>Обработка чугуна</i>												
4...10	I	II			III		IV					
10...16	I			II			III			IV		
16...32	I					II				III		

Этап 4. Определение скорости резания  $v$ .

Скорость резания при сверлении и зенкерования стальных и чугунных деталей быстрорежущими инструментами определяется из выражения  $v = v_{\text{табл}} K_1 K_2 K_3$ ,

где  $v_{\text{табл}}$  — скорость резания по табл. 22;

—  $K_1$  — коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала (табл. 23, 24);

—  $K_2$  — коэффициент, зависящий от величины, принятой для резания подачи  $S_0$  прин, определяется по табл. 25 из отношения  $S_0 \text{ прин} / K S_0 \text{ табл}$ .

Скорость резания при сверлении твердосплавными сверлами определяется по табл. 26.

Значения скорости резания при сверлении и зенкерования алюминиевых сплавов быстрорежущими инструментами указаны в табл. 27, при сверлении пластмасс быстрорежущими и твердосплавными сверлами — в табл. 28, 29.

Значения скоростей резания, рекомендуемые для сверл, оснащенных сменными многогранными пластинами, приведены в табл. 30.

Скорость резания при развертывании стальных, чугунных деталей и деталей из алюминиевых сплавов приведены в табл. 31 — 33.

20. Коэффициент  $K_m$ , учитывающий твердость обрабатываемой стали

Твердость HB	128...174	175...229	230...270	271...321
$K_m$	1,15	1	0,9	0,8

21. Значения подачи на оборот  $S_0$  табл.

Обрабатываемый материал	Группа подачи	Значение $S_0$ табл. мм/об, при диаметре обработки $D$ , мм											
		4	6	8	10	12	16	20	25	32	40	60	100
Сталь	I	0,07	0,11	0,15	0,2	0,25	0,28	0,32	0,4	0,45	-	-	-
	II	0,05	0,09	0,12	0,15	0,18	0,23	0,26	0,30	0,35	-	-	-
	III	0,04	0,06	0,08	0,11	0,14	0,17	0,2	0,22	0,25	-	-	-
	IV	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11	0,14	0,16	0,17	0,2	-	-	-
Чугун и алюминиевые сплавы	I	0,11	0,16	0,22	0,27	0,32	0,4	0,46	0,5	0,6	-	-	-
	II	0,08	0,12	0,16	0,2	0,25	0,3	0,35	0,38	0,45	-	-	-
	III	0,06	0,09	0,12	0,15	0,17	0,22	0,25	0,27	0,3	-	-	-
	IV	0,05	0,07	0,1	0,12	0,15	0,18	0,2	0,22	0,25	-	-	-

## Сверление

## Зенкерование цилиндрических отверстий

Сталь	I	-	-	0,35	0,4	0,45	0,5	0,65	0,7	0,75	0,9	1,1	1,6
	II	-	-	0,28	0,3	0,35	0,4	0,5	0,55	0,6	0,7	0,9	1,1
	III	-	-	0,2	0,22	0,25	0,3	0,4	0,4	0,5	0,55	0,7	0,95
	IV	-	-	0,11	0,13	0,15	0,17	0,18	0,22	0,22	0,25	0,28	0,35
Чугун и алюминиевые сплавы	I	-	-	0,45	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,5	2,0
	II	-	-	0,35	0,4	0,47	0,55	0,65	0,75	0,85	1,0	1,3	1,6
	III	-	-	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,7	0,9	1,1
	IV	-	-	0,2	0,23	0,25	0,28	0,3	0,33	0,37	0,4	0,5	0,6

Продолжение табл. 21

Обрабатываемый материал	Группа подачи	Значение $S_0$ табл. мм/об, при диаметре обработки $D$ , мм											
		4	6	8	10	12	16	20	25	32	40	60	100
<i>Зенкерование конических отверстий</i>													
Сталь	-	-	0,08	0,1	0,12	0,14	0,16	0,18	0,19	0,2	0,23	0,26	0,3
Чугун и алюминиевые сплавы	-	-	0,16	0,2	0,23	0,25	0,28	0,3	0,33	0,35	0,4	0,5	0,6
<i>Развертывание цилиндрических отверстий</i>													
Сталь	I	-	-	0,5	0,6	0,75	0,9	1,0	1,1	1,35	1,5	2,4	3,0
	II	-	-	0,4	0,45	0,5	0,6	0,75	0,8	1,0	1,1	1,8	2,3
	III	-	-	0,35	0,4	0,45	0,55	0,65	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
Чугун и алюминиевые сплавы	I	-	-	1,0	1,1	1,3	1,5	1,8	2,1	2,4	2,8	3,3	4,0
	II	-	-	0,6	0,75	0,85	1,0	1,2	1,4	1,6	1,7	2,3	3,0
	III	-	-	0,45	0,48	0,5	0,55	0,6	0,62	0,78	0,82	0,96	1,0
<i>Развертывание конических отверстий</i>													
Сталь	-	-	0,05	0,07	0,08	0,09	0,11	0,13	0,15	0,18	0,22	0,3	0,45
Чугун и алюминиевые сплавы	-	-	0,06	0,08	0,1	0,12	0,15	0,18	0,22	0,25	0,3	0,45	0,6

Пр и м е ч а н и е . Представленные в таблице значения подачи применять при обработке сталей твердостью 179...229 НВ и чугуна твердостью до 230 НВ.



## 22. Скорость резания $v_{\text{табл}}$ при сверлении и зенкерованиях стали и чугуна

Группа подачи	Скорость резания $v_{\text{табл}}$ , м/мин, при			
	сверлении спиральными сверлами с $L_p/D$			зенкерованиях
	до 3	3...5	5...8	
I	17	16	15	21
II	18	17	16	22
III	19	18	17	24
IV	20	19	18	27

Примечания:

1. В таблице приведены значения  $v_{\text{табл}}$  для обработки стали. При обработке чугуна  $v_{\text{табл}}$  увеличить на 1 м/мин.
2. Для инструментов из быстрорежущей стали повышенной производительности  $v_{\text{табл}}$  увеличить на 20 %.
3. Для инструментов с покрытием TiN по задним поверхностям  $v_{\text{табл}}$  увеличить на 20 %.
4. Для сверл короткой серии  $v_{\text{табл}}$  увеличить на 20 %.
5. Для сверл с двойной заточкой  $v_{\text{табл}}$  увеличить на 15 %.
6. Для зенкеров из твердых сплавов групп K10 и K20  $v_{\text{табл}}$  увеличить в 1,8...2 раза по сравнению с инструментами из быстрорежущей стали.
7. При зенкерованиях по корке  $v_{\text{табл}}$  уменьшить на 20 %.

## 23. Значения коэффициента $K_1$ при обработке стали

Марка обрабатываемой стали	Значения $K_1$ при обработке сталей твердостью НВ			
	128...174	175...229	230...269	271...321
10, 15, 20, 25	1,20	1,10	—	—
30, 35, 40, 45, 50	1,05	1,00	0,85	0,70
60, 65, 70, 60Г, 70Г, 65Г	—	0,85	0,75	0,60
15Х, 20Х	1,30	1,00	0,80	0,70
30Х, 35Х, 40Х, 45Х, 30ХМ, 38ХМА, 42ХМФА	—	1,00	0,85	0,70
15Г, 20Г, 25Г	1,10	1,05	0,95	—
30Г, 35Г2, 40Г, 45Г2, 50Г	1,05	0,90	0,75	0,65
16ХГ, 18ХГ, 18ХГМ, 18ХГТ, 20ХГР, 25ХГТ	1,10	1,00	0,80	0,70
30ХГТ, 35ХГ2, 40ХГР, 40ХГТР, 40ХФА, 50ХФА	0,90	0,80	0,70	0,60
15ХМ, 20ХМ, 20Х2М4А	1,10	1,00	0,80	0,70
12ХН, 12ХН3А, 20ХН, 20ХН3А, 12ХН4А, 20ХН4А	1,05	0,90	0,80	0,65
30ХГСА, 35ХГСА, 35Х2ГСВА, 38ХГСА, 40ХС	—	0,70	0,60	0,45
14ХГН, 15ХГН, 19ХГН, 20ХГНР, 15ХГН2ТА, 15ХГНМ	1,00	0,90	0,75	0,65
ШХ9, ШХ15, ШХ15СГ	—	0,70	0,35	—

24. Значения коэффициента  $K_1$  при обработке чугуна

Обрабатываемый чугун			Значения $K_1$ при обработке инструментом	
Вид	Марка	Твердость НВ	из твердого сплава	из быстрорежущей стали
Серый	СЧ 10, СЧ 15	120...150	1,6	1,8
	СЧ 20, СЧ 21	160...200	1,2	1,25
	СЧ 24, СЧ 25	190...220	1,0	1,0
	СЧ 30	220...260	0,8	0,7
	СЧ 35	250...300	0,45	0,4
Ковкий	КЧ 30-6, КЧ 33-8, КЧ 35-10, КЧ 37-12	110...160	1,9	1,7
	КЧ 45-7, КЧ 50-5, КЧ 60-3	160...200	1,3	1,2
	КЧ 65-3, КЧ 70-2	200...240	1,0	0,9
Высокопрочный	ВЧ 35, ВЧ 40	140...190	1,6	1,5
	ВЧ 45, ВЧ 50	190...225	1,2	1,0
	ВЧ 45, ВЧ 50	225...260	0,8	0,6
	ВЧ 70	240...300	0,7	0,4
	ВЧ 80	270...330	0,4	0,2

25. Значения коэффициента  $K_2$ 

$\frac{S_{0 \text{ прин}}}{S_{0 \text{ табл}}}$	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4
$K_2$	0,95	1	1,05	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6

26. Ориентировочная скорость резания при сверлении отверстий  
твердосплавными сверлами

Обрабатываемый материал	Диаметр сверления, мм	Подача $S_0$ , мм/об	Марка сплава	Скорость резания, м/мин
Конструкционные и легированные стали с $\sigma_b$ , МПа: 550	10...16	0,12...0,22	ВК8	65...81
	16...23	0,16...0,28		67...79
	23...30	0,22...0,35		65...77

Окончание табл. 26

Обрабатываемый материал	Диаметр сверления, мм	Подача $S_z$ , мм/об	Марка сплава	Скорость резания, м/мин
650	10...16	0,12...0,22	BK8	56...69
	16...23	0,16...0,28		58...68
	23...30	0,22...0,35		56...66
750	10...16	0,12...0,22		49...61
	16...23	0,16...0,28		51...60
	23...30	0,22...0,35		49...58
850	10...16	0,12...0,22		44...54
	16...23	0,16...0,28		46...54
	23...30	0,22...0,35		44...52
Закаленная сталь твердостью HRC:			T15K6	
до 40	—	0,04...0,05	65...60	
40...55	—	0,025...0,03	60...55	
55...64	—	0,02...0,025	55...50	
Серый чугун твердостью HB:			BK8	
170	10...16	0,20...0,50		96...65
	16...23	0,30...0,70		92...59
	23...30	0,45...0,80		77...57
190	10...16	0,20...0,50		93...69
	16...23	0,30...0,70		87...67
	23...30	0,45...0,80		83...60
210	10...16	0,20		82...61
	16...23	0,25...0,50		76...59
	23...30	0,35...0,60		73...53
230	10...16	0,20...0,35		73...54
	16...23	0,25...0,50		68...52
	23...30	0,35...0,60	65...47	

27. Скорость резания  $v$  при сверлении и зенкерования деталей из алюминиевых сплавов

Алюминиевый сплав		Значение $v$ , м/мин, при	
Группа	Марка	сверлении	зенкерования
1	АМц, АМг2, АМг4, АМг5	80...100	50...80
2	АМг3, АД31, АД33, Д16, Д1, 18, АК4, АК8, АК6, АК6М2, АЛ10, АЛ5, АЛ3, АЛ7, АЛ13, АЛ9	60...80	40...60
3	АК9Т, АК10М2М, АЛ2, АЛ4, АЛ8, АЛ25	35...60	30...45
4	АЛ26	Назначать как для СЧ 24	

Примечание. Значения  $v$  приведены для быстрорежущих инструментов, имеющих стойкость 60...120 мин. При работе твердосплавными сверлами и зенкерами скорость резания можно повышать на 50 % без снижения уровня стойкости.

## 28. Режимы резания при сверлении пластмасс

Обрабатываемый материал	Материал режущей части сверла	Режимы резания		
		$v$ , м/мин	$S_0$ , мм/об	
Акрилаты	ВК6, ВК8	60...120	0,05...0,25	
Фторкарбонаты		60...150	0,05...0,25	
Поликарбонаты		90...240	0,02...0,04	
Текстолит		30...90	0,06...0,25	
Стеклотекстолит		30...90	0,06...0,25	
Стекловолокнит	Р9, Р6М5	20...90	0,06...0,3	
Органическое стекло		25...80	0,1...0,15	
Гетинакс		ВК6	30...35	0,1...0,5
Полнамид		Р9, Р6М5	100...150	0,1...0,5
Пенопласт		У8А, У10А	40...250	0,3...0,5
Полиэтилен	Р9, Р6М5	50...108	0,1...0,4	

Примечание. При обработке глубоких отверстий сверло необходимо периодически выводить из отверстия (см. табл. 29).

## 29. Число выводов сверла

Глубина сверления, мм	$3d$	$4d$	$6d$	$7d$
Число выводов сверла	1...2	2...3	3...4	4...5

Примечание.  $d$  – диаметр сверла, мм.

### 30. Подача $S_0$ и скорость резания $v$ при сверлении сверлами, оснащенными сменными многогранными пластинами

Обрабатываемый материал		Значение $v$ , м/мин		Значение $S_0$ , мм/об, при диаметре сверления $D$ , мм			
Вид	Твердость НВ	без покрытия	с износостойкими покрытиями	18...21	21...25	25...30	св. 30
Конструкционные углеродистые и малолегированные стали	180	120...200	150...250	0,06...0,12	0,08...0,14	0,1...0,16	0,1...0,25
	до 230	100...150	120...200				
	св. 300	80...120	100...150				
Серый и высокопрочный чугуны	до 230	100...160	120...200	0,08...0,16	0,1...0,2		
	св. 230	80...120	100...150				
Алюминиевые сплавы	—	200...400	—	0,06...0,15	0,08...0,18		0,1...0,3

### 31. Скорость резания $v$ при развертывании деталей из стали

Обрабатываемая поверхность		Скорость резания $v$ , м/мин, при обработке стали	
Точность обработки, качество	Параметр шероховатости $Ra$ , мкм	нормализованной	вязкой и улучшенной
		7-9	0,63...1,25
1,25...2,5	8		5
2,5...5	10		8
10; 11	до 2,5	8	6
	2,5...5	12	8
	5...10	16	12

Примечание. При использовании твердосплавных разверток скорость резания 15 м/мин для разверток  $D \leq 20$  мм, и 10 м/мин для разверток с  $D < 20$  мм.

### 32. Скорость резания $v$ при развертывании деталей из чугуна

Обрабатываемая деталь		Скорость резания $v$ , м/мин, при обработке инструментом	
Точность обработки, качество	Твердость НВ	из твердого сплава	из быстрорежущей стали
		7-9	до 229
св. 229	8		
10; 11	до 229	до 30	16
	св. 229		12

**33. Скорость резания  $v$  при развертывании деталей из алюминиевых сплавов 2-й и 3-й групп**

Обрабатываемая поверхность		Значение $v$ , м/мин
Точность обработки, квалитет	Параметр шероховатости $Ra$ , мкм, не более	
9	2,5	25...50
7; 8		1,5

**Примечание.** При развертывании сплавов 2-й группы применяются, в основном, быстрорежущие свертки, сплавов 3-й группы – твердосплавные свертки, обеспечивающие значительное повышение стойкости инструмента.

*Этап 5. Определение частоты вращения шпинделя  $n$  и минутной подачи  $S_m$ .*

Частота вращения шпинделя станка  $n$  при сверлении, зенкеровании и развертывании рассчитывается по формуле  $n = \frac{1000v}{\pi D}$ . После расчета необходимо уточнить величину  $n$  по паспортным данным станка.

Величина минутной подачи инструмента  $S_m$  определяется из выражения  $S_m = S_{0n}$ , где  $n$  –

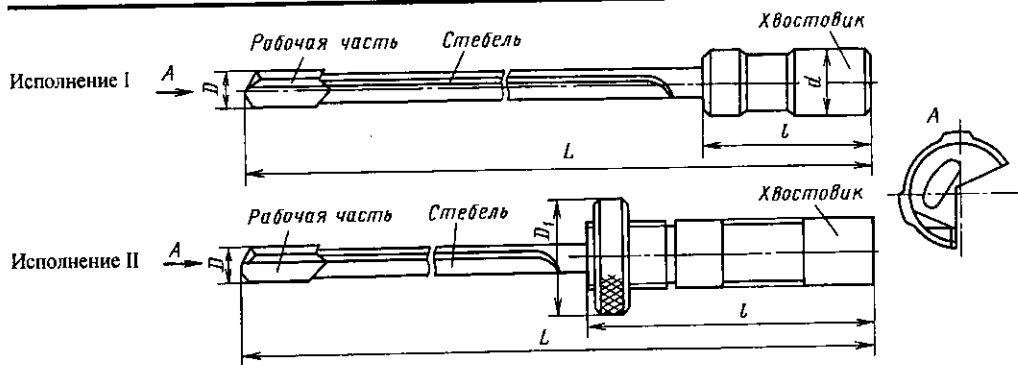
уточненное значение частоты вращения шпинделя.\* Величину  $S_m$  необходимо уточнить по паспортным данным станка.

*Этап 5. Расчет основного времени обработки  $T_0$ .*

Основное время обработки определяется из выражения  $T_0 = \frac{L_{р.х.}}{S_m}$ , где  $S_m$  – принятое значение минутной подачи.

**СВЕРЛА ОДНОСТОРОННЕГО РЕЗАНИЯ**

**34. Сверла одностороннего резания с внутренним подводом СОЖ с цельной твердосплавной рабочей частью (конструкции ВНИИ), мм**



D	d		L		l		D <sub>1</sub>
	Исполнение I	Исполнение II	Исполнение I	Исполнение II	Исполнение I	Исполнение II	
Св. 4,0 до 5,2	10	16	250; 400; 630	-	40	-	-
« 5,2 « 6,0			320; 500; 800				
« 6,0 « 6,5			360; 540; 840				
« 6,5 « 8,3			400; 630; 1000	440; 670; 1040			

\* Для станков с приводом подачи, независимым от вращения шпинделя.

Окончание табл. 34

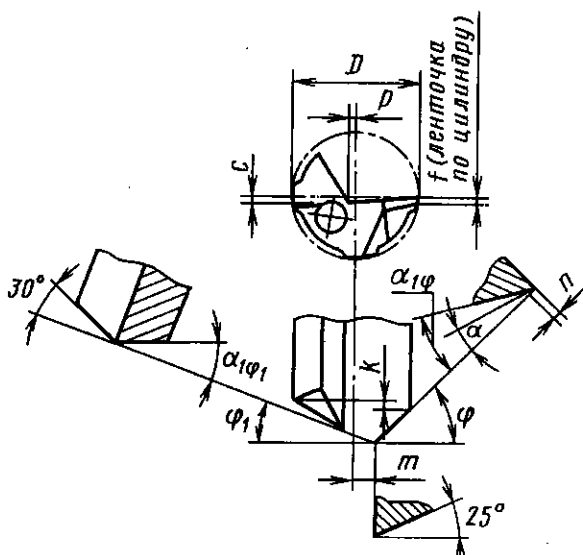
$D$	$d$		$L$		$l$		$D_1$
	Исполнение I	Исполнение II	Исполнение I	Исполнение II	Исполнение I	Исполнение II	
Св. 8,3 до 9,5	16	16	500; 800; 1250	540; 840; 1290	50	85	36
« 9,5 « 11,0		20		560; 860; 1310		115	
« 11,0 « 13,5		26	500; 1000; 1600	580; 1060; 1660			70
« 13,5 « 15,3							
« 15,3 « 16,5							
« 16,5 « 17,3	25	26	630; 1250; 2000	680; 1300; 2050	70	45	
« 17,3 « 20,3							

Примечания: 1. Цельную рабочую часть сверл изготовляют из твердого сплава ВК6М. Допускается применение твердых сплавов ВК60М, ВК8.

2. Стебель сверл изготовляют из стали 30ХГСА (40ХН2МА).

3. Материал хвостовика сверл – сталь 40Х или сталь других марок с равноценными физико-механическими свойствами.

### 35. Геометрические параметры сверл одностороннего резания, °



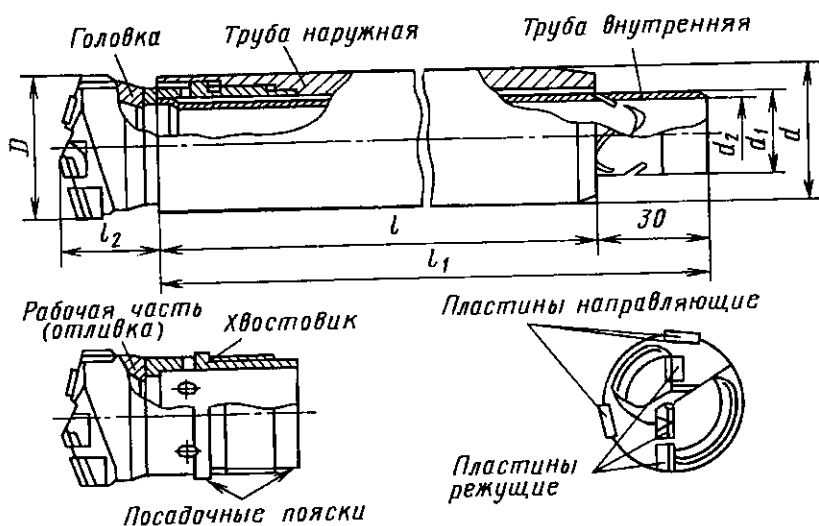
Окончание табл. 35

Обрабатываемый материал	$t$ , мм	$\phi$	$\phi_1$	$\alpha$	$\alpha_{1\phi}$	$\alpha_{1\phi_1}$
Стали:						
конструкционные	0,21...0,25	20...45	20	7	15	20
коррозионно-стойкие	0,25	10...40	8...20	7	18	20
Титановые сплавы	0,25	8...18	8...18	7	18	20
Чугуны	0,25	30...35	15...20	6	8	15
Латуни, бронзы, медные и магниевые сплавы	0,21...0,25	8...45	8...20	7	15	20
Алюминиевые сплавы	0,21...0,25	5...45	5...20	7	12	20

Примечания: 1. Параметры плоской заточки сверл, не приведенные в таблице, выбирают из соотношений:  $n = 0,05D$ ;  $k = 0,03D$ ;  $c = 0,02D$ ;  $p = 0,05D$ ;  $f = 0,04...0,02D$ .

2. При заточке по винтовой поверхности основные параметры выбирают из следующих соотношений:  $t = 0,2D$ ;  $n = 0,15D$ ;  $k = 0,08D$ ;  $c = 0,004D$ ;  $p = 0,05D$ ;  $f = 0,04D$ ;  $\phi = 35^\circ$ ;  $\phi_1 = 20^\circ$ ;  $\alpha_{1\phi_1} = 15^\circ$ . Заточку выполняют с осевым шагом  $(0,1...0,2)D$ .

36. Сверла одностороннего резания с внутренним эжекторным отводом стружки и СОЖ (конструкция ВНИИ)



$D$	$d$	$d_1$	$d_2$	$l_2$
Св. 20,0 до 21,8	19,5	12	11,8	23
« 21,8 « 24,1	21,5	13	12,8	
« 24,1 « 26,4	23,5	14	13,8	



Окончание табл. 36

$D$	$d$	$d_1$	$d_2$	$l_2$
Св. 26,4 до 28,7	26,0	16	15,8	24
« 28,7 « 31,0	28,0	18	17,8	26
« 31,0 « 33,3	30,5	20	19,8	
« 33,3 « 36,2	33,0	22	21,8	
« 36,2 « 39,6	35,5	24	23,8	29
« 39,6 « 43,0	39,0	27	26,8	31
« 43,0 « 47,0	42,5	30	29,8	
« 47,0 « 51,7	46,5	32	31,8	
« 51,7 « 56,2	51,0	36	35,8	34
« 56,2 « 60,0	55,5	40	39,8	36

Примечания: 1. Режущая часть сверла должна быть оснащена режущими пластинками из твердого сплава Т5К10 (Т15К6, ВК8) и направляющими пластинками из твердого сплава Т14К8.

2. Рабочую часть головки сверла выполняют литьем из стали 40ХФЛ.

3. Хвостовик изготовляют из стали 40Х или 30ХГСА.

4. Трубы длиной  $l$  и  $l_1$  (мм) (комплект из наружной и внутренней труб) выполняют четырех исполнений:

$l$ .....	270	400	630	1070
$l_1$ .....	300	430	660	1100

## НАЛАДКА СТАНКА, ИНСТРУМЕНТА, ОСНАСТКИ ПРИ СВЕРЛЕНИИ

Основные технические требования к станку, инструменту, оснастке при наладке оборудования на сверление точных глубоких отверстий. Обработка отверстия по 5, 6-му качеству с параметром шероховатости обрабатываемой поверхности  $Ra = 1,25 \dots 1,6$  мкм и отклонением геометрической формы отверстия в осевом и поперечных сечениях, уводом оси отверстия не более 0,01 мм на длине 100 мм обеспечивается методом глубокого сверления с применением инструмента (сверл) одностороннего резания.

Основные технические требования, предъявляемые к инструменту, оборудованию и оснастке:

допускаемое радиальное биение рабочей части инструмента относительно поверхности хвостовика не более 0,01 мм при длине инструмента

до 30...50 мм и 0,03 мм при большей длине инструмента;

обратная конусность в пределах рабочей части инструмента 0,003...0,008 мм;

параметр шероховатости поверхности калибрующей ленточки и направляющих по цилиндрической части  $Ra = 0,16$  мкм;

на станке для глубокого сверления радиальное биение оси посадочного места шпинделя не должно превышать 0,005 мм;

допускаемое отклонение от параллельности оси шпинделя и направляющих, а также узла крепления детали (инструмента) к оси шпинделя на длине 100 мм не более 0,005 мм;

на станке должно обеспечиваться бесступенчатое регулирование частоты вращения и подачи;

материал кондукторной втулки – быстрорежущая сталь твердостью 62...65 HRC; параметр шероховатости обработанной поверхности

сти направляющего отверстия  $Ra = 0,16$  мкм; длина направляющей части кондукторной втулки должна быть равна длине рабочей части инструмента [не менее  $(1,5 \dots 2)D$ ];

системы подачи и фильтрации СОЖ должны обеспечивать: расход СОЖ до 100 л/мин; тонкую фильтрацию жидкости от механических загрязнений (максимальный размер частиц не более 0,005 мм); давление подачи СОЖ до 10 МПа; температуру нагрева СОЖ не более 40...50 °С.

*Основные требования к инструментальной наладке при обработке отверстий эжекторными сверлами.* Отклонение от соосности оси кондукторной втулки относительно оси посадочного отверстия под хвостовик инструмента не должно превышать 0,02 мм. Высота кондукторной втулки должна быть доста-

точной, чтобы обеспечить циркуляцию СОЖ и эффект эжекции, т.е. высота втулки должна быть на 5 мм больше длины части головки сверла, выступающей из наружной трубы. Максимально допустимый зазор между торцом обрабатываемой детали и торцом кондукторной втулки не более 1 мм. Кондукторную втулку выполняют из твердого сплава или быстрорежущей стали.

Твердость направляющей поверхности втулки 62...65 HRC, параметр шероховатости не более  $Ra = 0,1$  мкм.

Патроны при эжекторном сверлении отверстий могут устанавливаться как на специальном, так и на универсальном оборудовании.

На рис. 3 показаны два вида патронов для эжекторного сверления вращающимся (рис. 3, а)

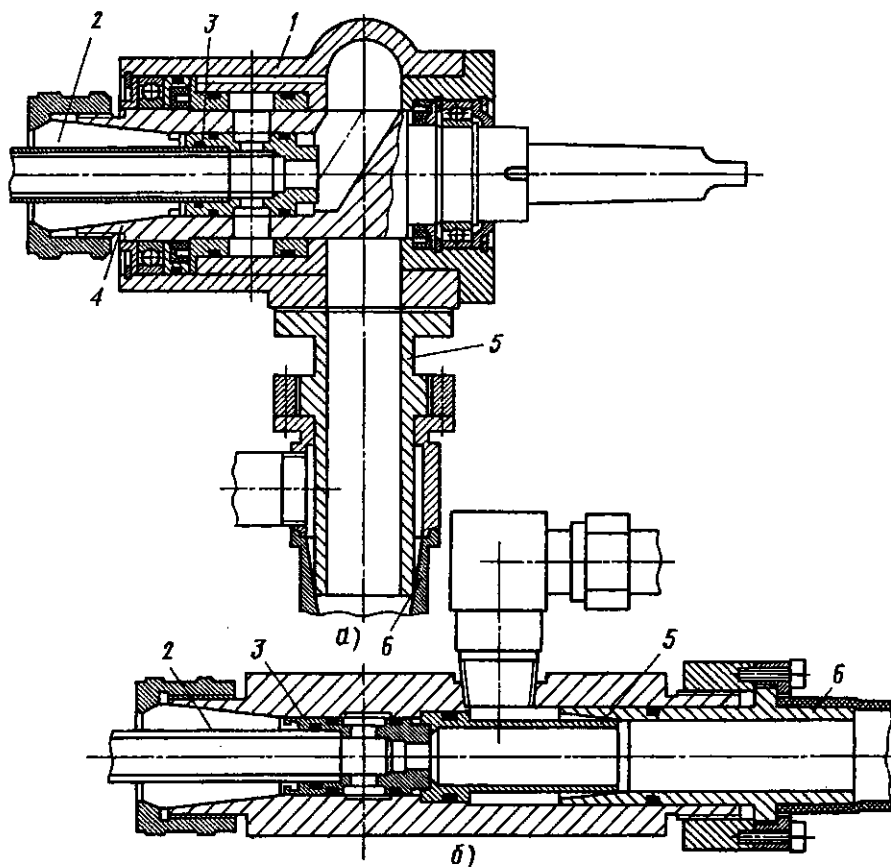


Рис. 3. Патроны для эжекторного сверления

и неподвижным (рис. 3, б) инструментом для обработки отверстия диаметром 20...60 мм.

Патроны оснащены набором зажимных цапг 2 и сальников 3 для установки эжекторных сверл различных диаметров. В патронах возможно создание дополнительного эжекционного эффекта – потоком СОЖ, проходящим по кольцевому зазору между коническими поверхностями патрубка 5 и штуцера 6.

Патрон с вращающимся инструментом используют в тех случаях, когда форма и размер заготовки не позволяют вращать ее.

В корпусе 1 этого патрона на подшипниках смонтирована вращающаяся оправка 4, по которой отводят стружку и СОЖ. Вращение инструменту передается через конический хвостовик оправки, помещенный в шпинделе станка. Патрон с неподвижным сверлом используют преимущественно в тех случаях, когда обрабатываемая заготовка симметрична относительно оси вращения и может быть установлена на токарных станках и станках для глубокого сверления.

*Точность обработки отверстий на агрегатных станках и автоматических линиях.* Операции обработки отверстий на агрегатных станках и автоматических линиях из агрегатных станков строят по принципу концентрации технологических переходов. Отверстия обрабатывают с направлением инструментов во втулках и без направления инструмента. Достигаемая точность при обработке отверстий приведена в табл. 37. Смещения осей отверстий при сверлении относительно их номинального положения в зависимости от диаметров предельно изношенных втулок – в табл. 38.

Данные по качеству обработанной поверхности отверстий приведены в табл. 39, рекомендуемые припуски на механическую обработку отверстий – в табл. 40.

*Наладка инструментов на сверлильных станках методом пробных ходов.* При наладке инструмента методом пробных ходов установленный в шпиндель станка инструмент выдвигают вместе с пинолью в крайнее переднее положение, чтобы он коснулся поверхности

обрабатываемой детали. Затем пиноль отводят в исходное положение, а силовую головку подают вперед на нужную или несколько меньшую глубину. После измерения обработанной детали выполняют соответствующее корректирование, чтобы получить годную деталь. При наладке по готовой детали используют ранее обработанную деталь.

Станок, как правило, налаживает опытный наладчик, который уточняет распределение припусков между переходами, проверяя правильность наладки обмером обрабатываемой детали.

*Наладка многошпиндельных сверлильных станков с помощью шаблонов и наладочных плит.* Для упрощения наладки инструмента при многошпиндельной обработке отверстий в сложных корпусных деталях часто применяют специальные установочные шаблоны.

На рис. 4 приведены конструкция такого шаблона и схема осевого регулирования сверл при наладке четырехстороннего сверлильного станка. Установочный шаблон имеет базовые поверхности для установки на станок вместо кондуктора и измерительные поверхности, по которым производится осевая установка инструмента. При настройке станка к измерительным поверхностям шаблона подводят вершины сверл и жестко закрепляют в цапгах, после чего шаблон снимают. При прохождении сверлами расстояний, равных  $L_1, L_2, L_3, L_4$  (расстояния определяются профилем кулачков подачи), в обрабатываемой детали просверливают отверстия глубиной  $l_1, l_2, l_3, l_4$ .

Настройка многошпиндельных головок является операцией, требующей высокой квалификации наладчика.

С целью упрощения наладки применяют наладочные плиты. Головка с такой плитой показана на рис. 5. Корпус 2 головки имеет два прилива, в отверстия которых запрессованы втулки 3, направляющие подвижные колонки 4 с закрепленной на них кондукторной плитой 1. К нижней поверхности корпуса головки прикреплены две накладки 5. Выступающие утолщенные части втулок обработаны соосно посаженным отверстиям под колонки. Наружные

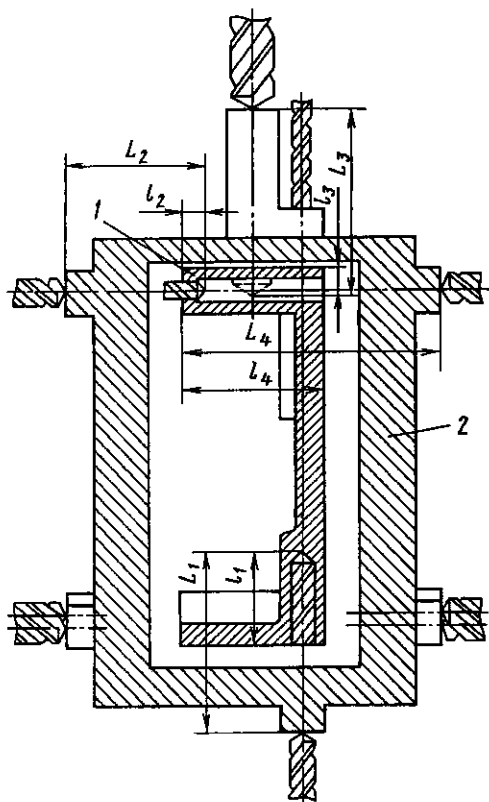


Рис. 4. Схема наладки инструментов многошпиндельного сверлильного станка с помощью шаблона:  
1 — деталь; 2 — шаблон

поверхности кронштейнов 6 соосны отверстию под шпинделю 7.

При наладке головки выступающие части кронштейнов фиксируются в точных отверстиях специальной сменной наладочной плиты 8 и крепятся гайками. Двумя точными отверстиями наладочная плита ориентируется по выступающим частям втулок и крепится к корпусу болтами 9. Координаты фиксирующих отверстий плиты и отверстий под втулки кондукторной плиты должны быть согласованы между собой, что достигается растачиванием этих деталей в сборе. Наладочные плиты такой конструкции рекомендуется применять при работе с перенастраиваемыми шпиндельными головками всех типов.

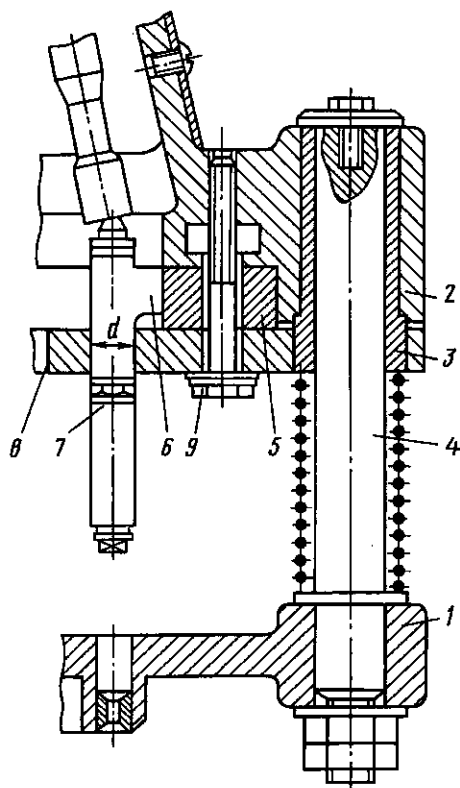


Рис. 5. Наладка положения шпинделей с помощью наладочных плит

Наиболее приемлемый способ изготовления наладочных плит — с применением самотвердеющих пластмасс (например, с эпоксидной смолой) по настроенной многошпиндельной головке. В этом случае кондуктор устанавливается на столе станка и шпиндელი многошпиндельной головки настраиваются по кондуктору. Базовые и фиксирующие отверстия в наладочной плите выполняются ступенчатными (короткая ступень больше диаметра посадочного отверстия на 0,3...0,5 мм, длинная ступень — на 2...3 мм). Эти отверстия заливаются самотвердеющей пластмассой, после отверждения которой наладочную плиту снимают, и она готова к применению.

## 37. Точность обработки отверстий

Параметр	Сверление	Зенкерование		Развертывание	
	Число рабочих ходов				
	1	1	2	1	2
Квалитет	12; 13	10; 11	9; 10	7; 8	6; 7
Смещение центра отверстия от номинального положения, мм	0,15...0,25	0,1...0,15	0,07...0,10	0,05...0,06	0,04...0,05
Отклонение от параллельности или перпендикулярности оси отверстия относительно базы, мм	0,10	0,08	0,05	0,05	0,05
Отклонение от параллельности осей других отверстий	0,20	0,16	0,12	0,10	0,10

Примечания: 1. Отклонения от параллельности и перпендикулярности для сверления и зенкерования указаны на длине 100 мм, для развертывания – на длине 300 мм.

2. Для зенкерования указаны параметры для предварительно необработанных отверстий, а для развертывания – после зенкерования.

## 38. Достигаемая точность расположения осей отверстий при сверлении по кондукторной втулке

Размеры, мм

Диаметр обрабатываемого отверстия	Кондукторная втулка			Предельное смещение центра отверстия от номинального положения
	Длина	Отклонение внутреннего диаметра		
		нижнее	верхнее	
3...6	16	0,012	0,025	0,15
7...10	22	0,014	0,030	
11...14	32	0,016	0,035	0,15...0,20
15...18	40			0,20
19...24	50	0,022	0,045	0,25
25...30	60			0,30
31...40	70	0,023	0,050	0,30...0,35

## 39. Способы направления сверл, зенкеров, разверток и комбинированного осевого инструмента

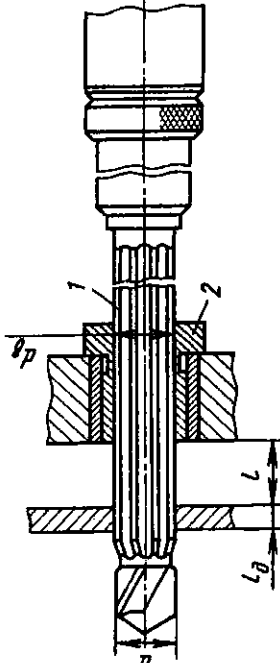
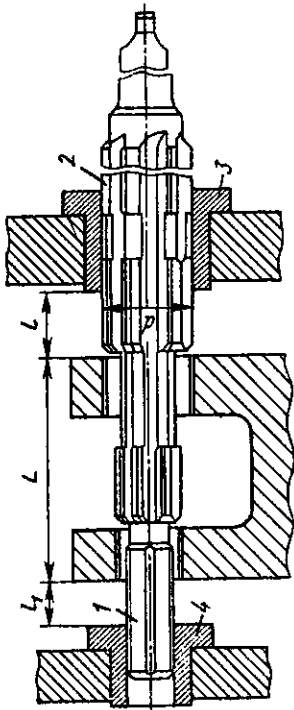
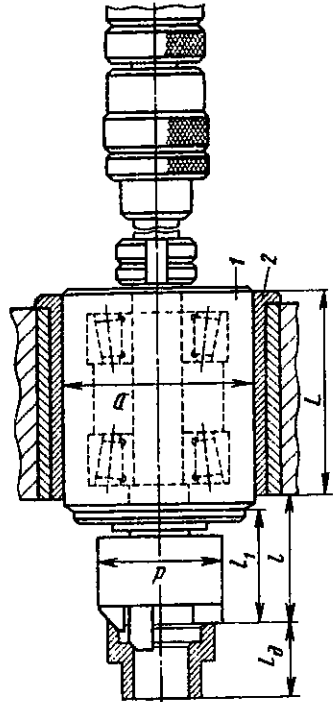
<p>Схема направления</p>	<p>Область применения и основные размеры, мм</p>																											
<p>По рабочей части инструмента</p>  <p>Направляющий элемент: у инструмента — рабочая часть (поз. 1); у приспособления — неподвижные или вращающиеся (поз. 2) кондукторные втулки</p>	<p>При обработке отверстий длиной не более двух-трех диаметров. Возможные комбинации: сверло — зенкер, сверло — развертка, зенкер — развертка, зенкер — зенкер</p> <table border="1" data-bbox="291 102 627 867"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Диаметр инструмента <math>d</math></th> <th colspan="3"><math>l</math> при обработке</th> </tr> <tr> <th>чугуна</th> <th>стали</th> <th>алюминия и его сплавов</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3...10</td> <td>(1,5...0,8)<math>d</math></td> <td>(2,5...1,7)<math>d</math></td> <td>(2,5...1,6)<math>d</math></td> </tr> <tr> <td>10...30</td> <td>(0,8...0,6)<math>d</math></td> <td>(1,7...1,2)<math>d</math></td> <td>(1,6...1,0)<math>d</math></td> </tr> <tr> <td>30...50</td> <td>(0,6...0,5)<math>d</math></td> <td>(1,2...1,0)<math>d</math></td> <td>(1,0...0,8)<math>d</math></td> </tr> </tbody> </table> <p>Соотношение размеров при комбинации развертка — развертка (кондукторная втулка нормальной длины)</p> <table border="1" data-bbox="739 102 862 867"> <tbody> <tr> <td><math>d_2</math></td> <td>6...10</td> <td>Св. 10 до 18</td> <td>Св. 18 до 25</td> </tr> <tr> <td><math>l</math></td> <td><math>d_2</math></td> <td>(1...0,8)<math>d_2</math></td> <td>(0,8...0,6)<math>d_2</math></td> </tr> </tbody> </table>	Диаметр инструмента $d$	$l$ при обработке			чугуна	стали	алюминия и его сплавов	3...10	(1,5...0,8) $d$	(2,5...1,7) $d$	(2,5...1,6) $d$	10...30	(0,8...0,6) $d$	(1,7...1,2) $d$	(1,6...1,0) $d$	30...50	(0,6...0,5) $d$	(1,2...1,0) $d$	(1,0...0,8) $d$	$d_2$	6...10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 25	$l$	$d_2$	(1...0,8) $d_2$	(0,8...0,6) $d_2$
Диаметр инструмента $d$	$l$ при обработке																											
	чугуна	стали	алюминия и его сплавов																									
3...10	(1,5...0,8) $d$	(2,5...1,7) $d$	(2,5...1,6) $d$																									
10...30	(0,8...0,6) $d$	(1,7...1,2) $d$	(1,6...1,0) $d$																									
30...50	(0,6...0,5) $d$	(1,2...1,0) $d$	(1,0...0,8) $d$																									
$d_2$	6...10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 25																									
$l$	$d_2$	(1...0,8) $d_2$	(0,8...0,6) $d_2$																									
<p>По задней и передней направляющим инструмента (комбинированные зенкеры и развертки)</p>	<p>При обработке отверстий длиной более двух диаметров и нескольких осевых отверстий "в линию" при больших расстояниях <math>L</math> между обрабатываемыми отверстиями; при недостаточной жесткости инструмента; при большом смещении оси предварительно обработанного отверстия относительно оси кондукторных втулок; <math>l_1</math> не менее 25</p>																											

Схема направления



Направляющий элемент: у инструмента – передняя (поз. 1) и задняя (поз. 2) направляющие, у приспособления – неподвижные (поз. 3 и 4) или вращающиеся втулки

Посредством задней скользящей втулки



При обработке отверстий больших диаметров и при малых расстояниях между обрабатываемыми отверстиями, а также для повышения жесткости инструмента;  $L_1$  не менее 25

Область применения и основные размеры, мм

$d$	До 30	30...50	50...80	80...120
$l$	35	40	50	60

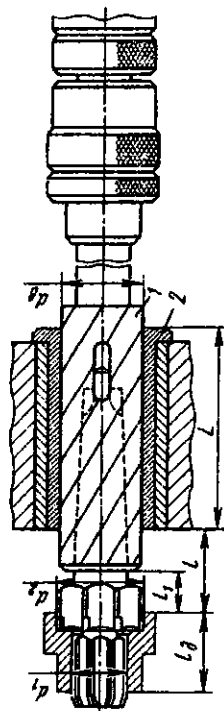
Схема направления

Направляющий элемент: у инструмента – задняя скользящая втулка  $l$ , у приспособления – неподвижная кондукторная втулка 2

Область применения и основные размеры, мм

$D$	$L_{\text{черн}}$	$L_{\text{чист}}$	$l$
50...80	$155 + l_d$	$200 + l_d$	40
80...120	$180 + l_d$	$240 + l_d$	50
120...180	$215 + l_d$	$280 + l_d$	55
180...240	$250 + l_d$	$310 + l_d$	60

По инструментальной оправке



При обработке отверстий небольших диаметров и достаточно больших расстояниях между центрами обрабатываемых отверстий. Для повышения жесткости инструмента  $l_1 = 25$ ;  $d_0 > d_2$

Направляющий элемент: у инструмента – инструментальная оправка  $l$  (переходная втулка); у приспособления – неподвижные 2 или вращающиеся кондукторные втулки

$d_0$	30...50	50...80	80...120
$L_{\text{черн}}$	$140 + l_d$	$165 + l_d$	$180 + l_d$
$L_{\text{чист}}$	$170 + l_d$	$200 + l_d$	$240 + l_d$
$l$	40	50	55



Область применения и основные размеры, мм

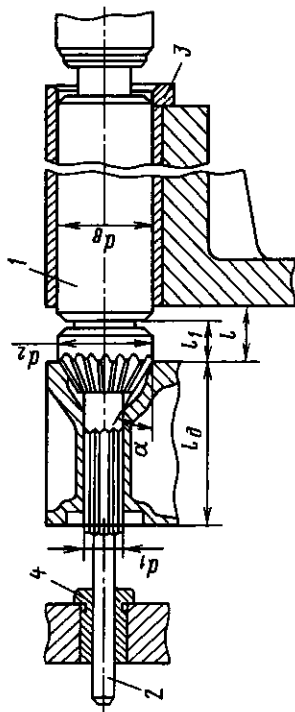
Для обработки отверстий длиной более двух диаметров, нескольких соосных отверстий «в линию» при больших расстояниях между обрабатываемыми отверстиями. При недостаточной жесткости инструмента. При большом смещении оси предварительно обработанного отверстия относительно оси кондукторных втулок  $l_1 \geq 25$

$d_2$	До 30	30...50	50...60	80...120
$l$	35	40	50	60

Примечание. В таблице даны ориентировочные значения  $l$  (из условий схода стружки).

Схема направления

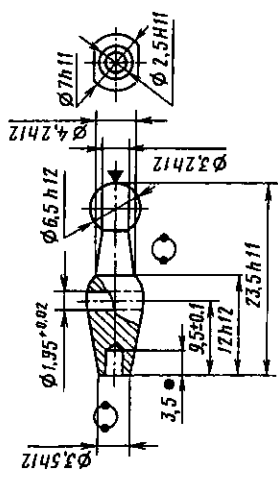
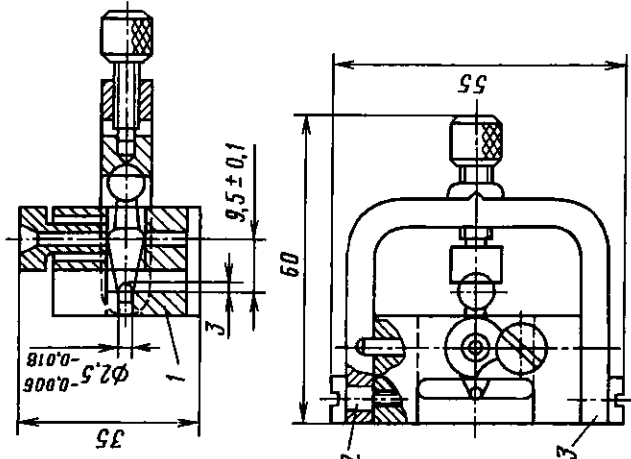
По инструментальной оправке и передней направляющей



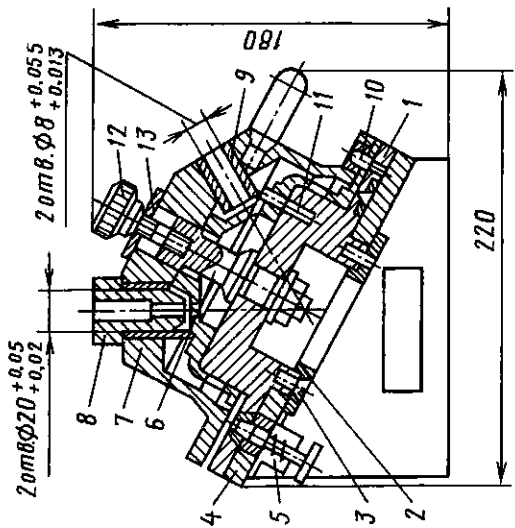
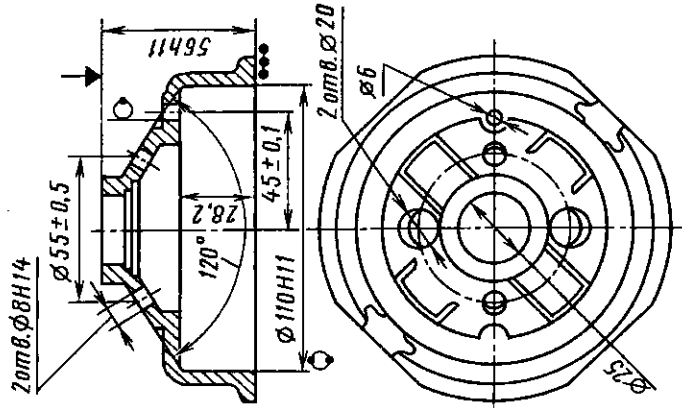
Направляющий элемент: у инструмента — инструментальная оправка 1 и передняя направляющая 2; у приспособления — кондукторные втулки неподвижные 3 и 4 или вращающиеся

40. Некоторые типы кондукторов, используемых при обработке деталей на сверлильных станках

Кондуктор	Обрабатываемая деталь	Область применения
<p>Накладной</p>	<p>Материал – дюралюминий</p>	<p>Для сверления отверстий в плоских деталях</p> <p>Базы детали – плоские поверхности: Б и две боковых – В и Г.</p> <p>К кондукторной плите 1 приклепаны три планки 2 с зажимными винтами 3, которые с одной стороны оканчиваются прижимами – пятами 4, а с другой – головками 5. Кондуктор устанавливают на плоскость Б обрабатываемой детали и прижимают с двух сторон винтами к штифтам 6, запрессованным в кондукторную плиту. Сверлят отверстия в детали через кондукторные втулки 7</p>

Область применения	Обрабатываемая деталь	Кондуктор
<p>Для сверления отверстий в круглых деталях</p> <p>Базы деталн – фасонная поверхность <math>\varnothing 7h11</math>, отверстие <math>\varnothing 2,5H11</math> и торец, перпендикулярный к его осн.</p> <p>В корпусе 1 шарнирно смонтирована на осях 2 скоба 3</p>	 <p>Материал – латунь</p>	 <p>С зажимом на откидной скобе</p>

Окончание табл. 40

<p>Кондуктор С делительным устройством</p>	<p>Обрабатываемая деталь</p>	<p>Область применения</p>
		<p>Для сверления отверстий расположенных на конусной поверхности корпуса</p> <p>Базы детали – центральное отверстие <math>\varnothing 110H11</math>, боковое отверстие <math>\varnothing 6</math> и нижний торец.</p> <p>Основание кондуктора 1 свободно входит в отверстие подставки 4; к торцу основания винтам 3 прикреплена шайба 2. Подставка опирается на два ребра 5. На основании установлен стойка 6, но которой центрируется стакан 7 с кондукторными втулками 8 и 9. Требуемое положение стакана относительно основания обеспечивается двумя пальцами 10, а обрабатываемой детал в кондукторе – пальцем 11. Деталь и стакан закрепляются гайкой 12 через быстросъемную шайбу 13.</p>

Материал – дюралюминий

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Общемашиностроительные** нормативы режимов резания: Справочник: В 2 т. / А.Д. Локтев, И.Ф. Гушин, В.А. Базуев и др. М.: Машиностроение, 1991.

2. **Режимы** резания металлов: Справочник / Ю.В. Барановский, Л.А. Брахман, А.И. Гдалевич и др. М.: НИИТавтопром, 1995. 456 с.

3. **Справочник** технолога-машиностроителя: В 2 т. / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. 5-е изд., испр. М.: Машиностроение, 2003.

4. **Справочник** технолога по автоматическим линиям / Под ред. А.Г. Косиловой. М.: Машиностроение, 1982. 320 с.

5. **Шевляков И.М., Мельниченко В.Д.** Обработка деталей на агрегатных и специальных станках. М.: Машиностроение, 1981. 224 с.

## ПРОТЯГИВАНИЕ

## ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

*Протягивание* (ГОСТ 25761–83) – обработка многолезвийным инструментом с поступательным главным движением резания, распространяемая на всю обрабатываемую поверхность без движения подачи. Может быть внутренним (протягивание внутренней замкнутой поверхности или ее элемента) и наружным (протягивание наружной или незамкнутой внутренней поверхности).

Протягивание осуществляется протяжками – многолезвийным инструментом, в конструкцию которого заложена подача за счет ряда последовательно выступающих одно над другим лезвий (группы лезвий) в направлении, перпендикулярном скорости главного движения.

*Особенности процесса протягивания:*

- 1) наличие только одного главного движения (прямолинейного, иногда вращательного);
- 2) требуется применение точного многолезвийного, сложного в изготовлении инструмента;
- 3) малая толщина и большая ширина образуемой при протягивании стружки;
- 4) изделие обрабатывается одновременно по всему профилю;
- 5) одновременное участие в резании большого числа зубьев;
- 6) совмещение черновой, чистовой и отделочной обработки (калибрование размеров и пластическая деформация поверхности);
- 7) высокая точность и качество обработанной поверхности;
- 8) процесс протягивания легко поддается автоматизации;
- 9) высокая производительность обработки (в 3...12 раз выше развертывания, фрезерования, долбления, строгания, шлифования).

Разновидностью протягивания является прошивание отверстий, пазов и других поверхностей, когда инструмент проталкивается и, в отличие от протяжки, работает на сжатие.

*Область применения протягивания.* Внутреннее протягивание наиболее широко применяется для обработки различных отверстий: цилиндрических, квадратных, много-

гранных, шлицевых с различным профилем прямых и винтовых канавок, а также шпоночных и других фигурных пазов в отверстиях детали. Диаметр протягиваемых отверстий может составлять 5...400 мм, их длина до 10 м. Чаще всего протягиваются отверстия диаметром 10...75 мм и длиной, не превышающей 2,5...3,0 диаметра. Ширина протягиваемых пазов составляет 1,5...100 мм. Протягивание особенно широко применяется в авиационной, автотракторной и станкостроительной промышленности.

Наружное протягивание применяется в основном вместо фрезерования, строгания и шлифования. Наружное протягивание выгодно при обработке в массовом производстве больших поверхностей (например, блоков и головок цилиндров автомобильных и тракторных двигателей). Чаще всего протягиваются плоскости, фасонные поверхности, различные пазы, рифления.

Протяжками обрабатываются все виды металлов и пластмасс, допускающих обработку резанием.

В табл. 1 представлены технологические характеристики протягивания.

В табл. 2 представлены параметры качества поверхности:  $H_{\max}$  – макроотклонение поверхности при механических методах обработки, связанное с геометрическими неточностями станка, упругими деформациями технологической системы, температурными деформациями и износом режущего инструмента;  $Wz$  – средняя высота волны;  $Sm_w$  – средний шаг волн;  $Ra$ ,  $Sm$ ,  $S$  – параметры шероховатости;  $Rp$  – высота сглаживания профиля шероховатости;  $\sigma_{ост}$  – остаточные напряжения в поверхностном слое;  $h_{\sigma}$  – глубина залегания  $\sigma_{ост}$ ;  $U_n$  – степень наклепа поверхностного слоя;  $h_n$  – глубина наклепа поверхностного слоя.

*Методы протягивания.* Различают свободное и координатное протягивание поверхностей деталей.

При свободном протягивании деталь устанавливается на столе протяжного станка свободно, без закрепления в приспособлении, т.е. без жесткой размерной связи с другими поверхностями этой детали. В этом случае, обра-

## 1. Технологические характеристики протягивания

	Параметр шероховатости поверхности $R_a$ , мкм	Глубина дефектного слоя, мкм	Квалитет	Допуски, мкм, на размер при номинальных диаметрах отверстий, мм												
				Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500	
Обработка	0,8...12,5	10...25	11	-	-	-	-	160	190	220	250	-	-	-	-	-
				-	-	-	-	100	120	140	160	-	-	-	-	-
Протягивание: черновое литого или прошитного отверстия	0,2...6,3	5...10	9	-	-	43	52	62	74	87	100	-	-	-	-	-
				-	-	27	33	39	46	57	63	-	-	-	-	-
чистовое после чернового или после сверления			7	-	-	18	21	25	30	35	40	-	-	-	-	-
				-	-	11	13	16	19	22	25	-	-	-	-	-
Обработка	Степень точности формы по ГОСТ 24643-81	Допуски формы, мкм, при номинальных диаметрах отверстий, мм														
Протягивание: черновое литого или прошитного отверстия	8-9-10 7-8-9			Св. 3 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50									
				-	-	-	-									
чистовое после чернового или после сверления	6-7-8 5-6-7 4-5-6 3-4-5			Св. 3 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50									
				-	5-8-12 3-5-8 2-3-5 1,2-2-3	6-10-25 4-6-10 2,5-4-6 1,6-2,5-4	20-30-50 12-20-30									

Окончание табл. 1

Обработка	Степень точности формы по ГОСТ 24643-81	Допуски формы, мкм, при номинальных диаметрах отверстий, мм			
		Св. 50 до 120	Св. 120 до 250	Св. 250 до 400	Св. 400 до 500
Протягивание: черновое литого или проштампованного отверстия	8-9-10	25-40-60	30-50-80	-	-
	7-8-9	16-25-40	20-30-50	-	-
чистовое после чернового или после сверления	6-7-8	10-16-25	12-20-30	-	-
	5-6-7	6-10-16	8-12-20	-	-
	4-5-6	4-6-10	5-8-12	-	-
	3-4-5	2,5-4-6	3-5-8	-	-

2. Параметры качества поверхностей после протягивания

Обработка	Ra, мкм	Stz, мм	S, мм	Rp, мкм	Wz, мкм	Sty, мкм	H <sub>max</sub> на 1000 мм, мкм	±σ <sub>верт</sub> , МПа	H <sub>св</sub> , мм	U <sub>в</sub> , %	H <sub>в</sub> , мм
Протягивание: черновое чистовое	1,0...3,2	0,16...2,0	0,125...2,0	2,5...10,0	1,25...4,0	1,0...3,2	20...60	300...350	0,2...0,3	10...30	0,2...0,6
	0,32...1,25	0,05...0,50	0,032...0,50	0,8...4,0	0,40...2,5	0,8...1,5	5...30	200...300	0,1...0,2	10...20	0,1...0,3
Протягивание: черновое чистовое	1,25...3,2	0,08...0,25	0,04...0,2	0,2...1,0	1,25...5,0	1,0...4,0	10...80	200...300	0,10...0,40	20...40	0,2...0,8
	0,32...1,25	0,02...0,10	0,008...0,08	0,8...4,0	0,4...1,6	0,5...2,0	3...30	200...300	0,05...0,15	10...50	0,1...0,5

Внутренние поверхности вращения



ботанная поверхность сама по себе является базой, от которой производится обработка остальных поверхностей детали. Свободное протягивание является наиболее распространенным методом обработки деталей протягиванием.

При координатном протягивании обрабатываемая поверхность связана определенными размерами с заранее обработанными поверхностями, которые являются исходными базами. В этом случае деталь закрепляется в специальном приспособлении, в котором она устанавливается на своих базах. Протяжка при этом движется во время работы по направляющим приспособления, получая строго определенное положение относительно базовых поверхностей обрабатываемой детали.

**Схемы протягивания.** Основные схемы внутреннего протягивания представлены на рис. 1.

Все схемы можно укрупнено разделить по количеству, типу (поступательное, враща-

тельное) и направлению движений, а также по положению оси инструмента в пространстве:

– протягивание осуществляется через неподвижное изделие в горизонтальном направлении (рис. 1, а) на горизонтально-протяжных станках;

– протягивание осуществляется через неподвижное изделие сверху вниз или снизу вверх (рис. 1, б, в) на вертикально-протяжных станках. Преимуществами этого вида протягивания являются возможность автоматизации, малая площадь, занимаемая станком, улучшение условий стружкоотвода и подвода СОЖ, исключение влияния веса протяжки на точность обработки. Недостаток – большая высота станков;

– протяжка (или изделие) вращается во время движения рабочего хода (рис. 1, г). Станки горизонтально- и вертикально-протяжные для внутреннего протягивания могут быть с коперными винтами или другими механизмами для вращения протяжки (изделия) или

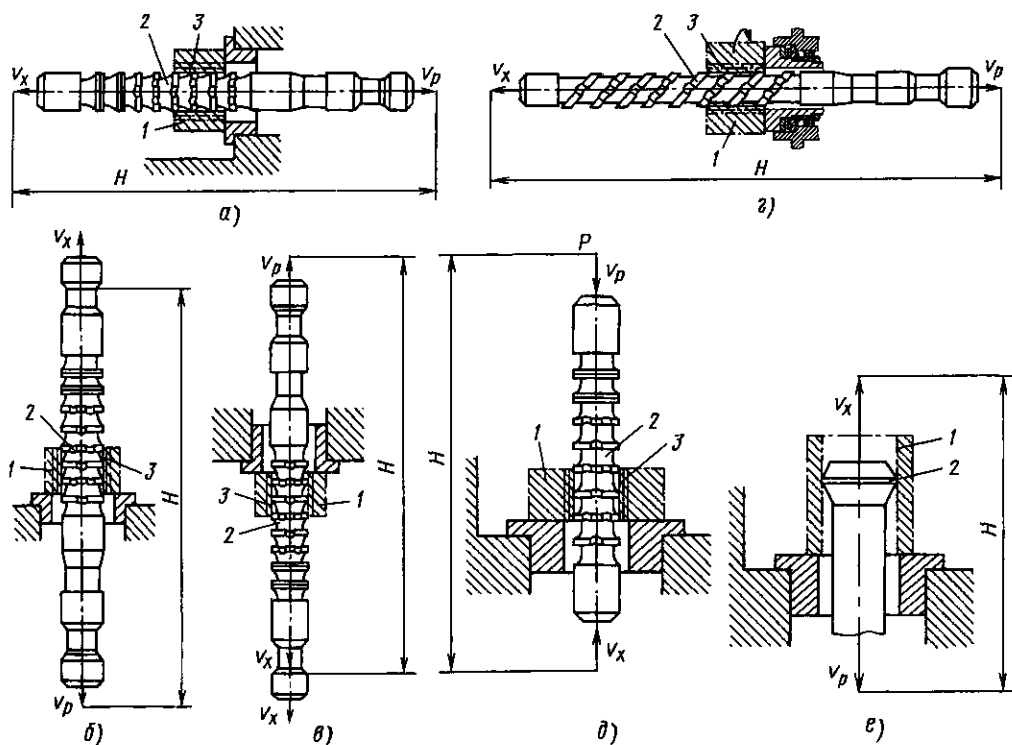


Рис. 1. Основные схемы внутреннего протягивания:

1 – изделие; 2 – протяжка; 3 – срезаемый припуск;  $H$  – длина хода протяжки (изделия);  $v_p$  – направление рабочего хода;  $v_x$  – направление холостого хода

с шариковыми опорными приспособлениями для самовращения протяжки (изделия). Такой вид протягивания, как правило, применяется для обработки винтовых пазов;

– прошивка проталкивается через неподвижное изделие сверху вниз (рис. 1, д). Этот процесс осуществляется на прессах с ручным, ножным, механическим или гидравлическим приводом, а также на специальных станках. Длина прошивки ограничена (не более 15 диаметров), что уменьшает величину съема припуска за один проход;

– обработка уплотняющей прошивкой (или протяжкой) (рис. 1, е) может осуществляться как отделочная операция после предварительной обработки, как подготовительная перед протягиванием или в комбинациях: режуще-деформирующее протягивание (срезание основного припуска режущей частью протяжки и отделка деформирующей частью), деформирующе-режуще-деформирующее протягивание (подготовка отверстия деформирующей частью, срезание основного припуска режущей частью и отделка деформирующей частью).

Основные схемы наружного протягивания представлены на рис. 2.

При наружном протягивании возможны следующие схемы: протяжка совершает рабочее движение сверху вниз, при этом изделие закреплено неподвижно (рис. 2, а); протяжка

движется горизонтально при неподвижно закрепленном изделии (рис. 2, б); протяжка закреплена неподвижно, а изделия, закрепленные на цепном конвейере, движутся непрерывно и прямолинейно (рис. 2, в); протяжка, вращаясь вокруг своей оси, совершает непрерывное круговое главное движение (рис. 2, з); протяжка и изделие вращаются (рис. 2, д); протяжка совершает прямолинейное движение, а изделие вращается (рис. 2, е); схемы рис. 2, д, е предназначены для наружного протягивания тел вращения.

Возможно также наружное протягивание протяжками, зубья которых расположены на торце диска по винтовой поверхности и за один оборот обрабатывают плоскость изделия. При этом возможно расположение зубьев как на торцах, так и на периферии протяжки.

*Методы образования поверхностей при протягивании.* Выбор метода образования поверхности при конструировании режущей части протяжки зависит от формы, размеров и способа получения заготовок, а также от формы и размеров протянутых изделий. При конструировании внутренних и наружных протяжек, работающих с прямолинейным движением, применяют метод подобия (профильный), последовательный (генераторный) и комбинированные методы образования поверхностей (табл. 3).

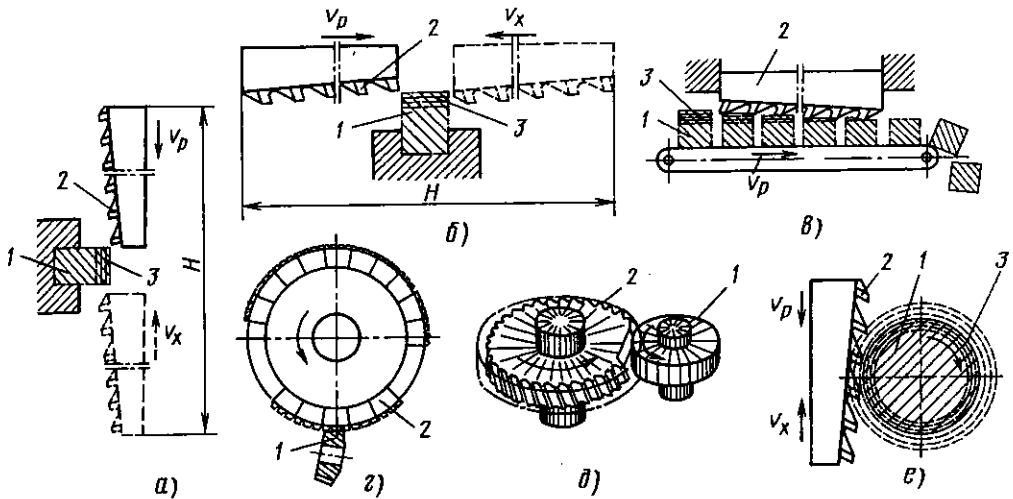
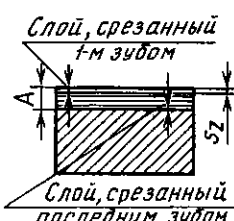
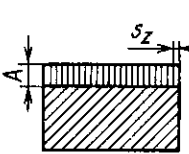
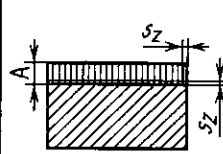

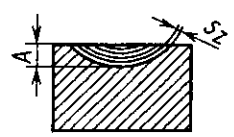
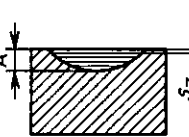
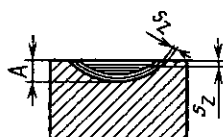
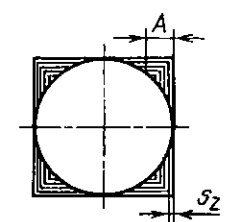
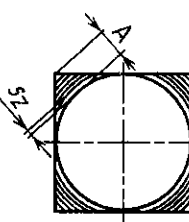
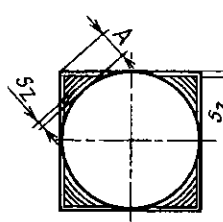


Рис. 2. Основные схемы наружного протягивания:

1 – изделие; 2 – протяжка; 3 – срезаемый припуск;  $H$  – длина хода протяжки (изделия);  $v_p$  – направление рабочего хода;  $v_x$  – направление холостого хода

## 3. Методы образования поверхностей при протягивании

Протягиваемая поверхность	Методы образования поверхностей		
	подобия (профильный)	последовательный (генераторный)	комбинированный
Плоскость			
Цилиндрическое отверстие		Не применяется	Не применяется
Фасонная поверхность			
Квадратное отверстие			

Условные обозначения:  $A$  — припуск на протягивание;  $S_z$  — подача на зуб.

При обработке по методу подобия (профильному) все зубья протяжки имеют профиль, подобный профилю окончательно обработанной поверхности. Режущие зубья (за исключением последнего) не принимают участия в окончательном формировании профиля обработанной поверхности и только срезают основной припуск на обработку. Окончательное формирование профиля производится последним режущим зубом и несколькими калибрующими.

Метод подобия обеспечивает лучшую шероховатость при протягивании, но при обработке сложных поверхностей он не рационален из-за трудностей изготовления сложного профиля зубьев протяжки.

При обработке последовательным методом (генераторным) окончательная форма и размеры протянутой поверхности получаются от воздействия вспомогательных режущих кромок всех зубьев.

Последовательный метод протягивания сложных поверхностей позволяет упростить технологично изготовления протяжки.

При обработке по комбинированному методу после зубьев, срезающих припуск по последовательному методу, располагают несколько зубьев, работающих по методу подобия.

*Схема срезания припуска.* Протяжки по схеме срезания припуска делятся на протяжки с одинарной и групповой схемой срезания припуска.

При одинарной схеме срезания припуска каждый зуб срезает слой материала за счет превышения (подъема) высоты последующего зуба по отношению к предыдущему.

Одинарная схема срезания припуска характеризуется следующими особенностями: необходимость стружкоделительных канавок на зубьях; неудовлетворительные условия стружкообразования и резания на вспомогательных кромках зубьев; большая ширина срезаемого слоя на один зуб вынуждает назначать небольшую толщину срезаемого слоя, что приводит к большому длине протяжек; при срезании тонких слоев последними зубьями, выполненными без стружкоделительных кана-

вок, обеспечивается высокая шероховатость обработанной поверхности.

При групповой схеме срезания припуска все зубья протяжки разделены на группы по два или более зуба, имеющих одинаковые размеры в пределах группы, и срезаемый слой разделяется по периметру между зубьями в группе.

Групповая схема срезания припуска характеризуется следующими особенностями: на вспомогательных режущих кромках образуют достаточные задние углы, что, как следствие, повышает стойкость протяжки; толщина срезаемого слоя превышает суммарную толщину срезаемого слоя, приходящуюся на то же число зубьев при одинарной схеме, что сокращает общую длину протяжки; улучшается процесс стружкообразования.

Протяжки, работающие по первой схеме, называют протяжками одинарного резания, а по второй – группового резания.

Основные типы стандартизованных внутренних протяжек приведены в табл. 4. Технические условия на протяжки для обработки цилиндрических, шлицевых и гранных отверстий приведены в ГОСТ 28442-90.

4. Типы стандартизованных протяжек

Тип протяжки	ГОСТ	Основные размеры, мм		
		<i>b</i>	<i>L</i>	
Шпоночные	18217-90	6...50	565...1550	
	18218-90	3...10	475...1205	
	18219-90	3...10	495...1255	
	18220-90	10...50	830...1550 (тип I – черновые) 425...915 (тип II – чистовые)	
Круглые переменного резания	20364-74*	<i>d</i>	<i>L</i>	
	20365-74*	10...13 14...90	360...420 460...1380	
Комбинированные переменного резания для шлицевых отверстий с прямым профилем с центрированием по наружному диаметру	24818-81*	$z \times d_1 \times D$	<i>L</i>	
		6×21×25... 6×28×34	700...1125	
	24819-81*	6×11×14	Первого прохода 375	Второго прохода 350
		6×13×16 6×16×20 6×18×22	450...725	450...725
6×21×25...6×28×34		675...1100	600...950	

Продолжение табл. 4

Тип протяжки	ГОСТ	Основные размеры, мм		
		$z \times d_1 \times D$	$L$	
Комбинированные переменного резания для шлицевых отверстий с прямобочным профилем с центрированием по наружному диаметру	24820-81*	$8 \times 32 \times 36 \dots 8 \times 62 \times 68$	925...1625	
			Первого прохода 1050...1575	Второго прохода 900...1300
	24821-81*	$8 \times 32 \times 38 \dots 8 \times 62 \times 72$	1325...1525	
		$10 \times 72 \times 78$ $10 \times 82 \times 88$	Первого прохода 1050...1450	Второго прохода 1050...1500
	24822-81*	$10 \times 72 \times 78$ $10 \times 82 \times 88$	1325...1525	
24823-81*	$10 \times 72 \times 78 \dots$ $10 \times 82 \times 92$	Первого прохода 1050...1450	Второго прохода 1050...1500	
Комбинированные переменного резания для шлицевых отверстий с прямобочным профилем с центрированием по внутреннему диаметру	25969-83*	$z \times d_1 \times D$	$L$	
		$6 \times 21 \times 25 \dots 6 \times 28 \times 34$	850...1125	
	25970-83*	$6 \times 11 \times 14$	Первого прохода 400	Второго прохода 400
		$6 \times 13 \times 16$ $6 \times 16 \times 20$ $6 \times 18 \times 22$	525...675	500...650
		$6 \times 21 \times 25 \dots 6 \times 28 \times 34$	625...1075	525...1050
	25971-83*	$8 \times 32 \times 36 \dots 8 \times 62 \times 68$	1000...1575	
	25972-83*	$8 \times 32 \times 36 \dots 8 \times 62 \times 72$	Первого прохода	Второго прохода
			800...1525	625...1525
	25973-83*	$10 \times 72 \times 78$ $10 \times 82 \times 88$	1400...1550	
	25974-83*	$10 \times 72 \times 78 \dots$ $10 \times 82 \times 92$	Первого прохода	Второго прохода
1125...1525			1000...1550	
Для шлицевых отверстий с эвольвентным профилем и центрированием по наружному диаметру	25157-82*	$D \times m$	$L$	
		$12 \times 1; 14 \times 1$	Первого прохода 400	Второго прохода 350
	25158-82*	$15 \times 1 \dots 90 \times 2,5$	475...1500	
	25159-82*	$15 \times 1 \dots 90 \times 2,5$	Первого прохода	Второго прохода
			500...1425	425...1200
	25160-82*	$45 \times 3 \dots 90 \times 5$	1150...1525	
25161-82*	$90 \times 3,5$ $70 \times 4 \dots 90 \times 5$	Первого прохода	Второго прохода	
		1325...1500	1100...1300	
Для квадратных отверстий	26478-85*	$S$	$L$	
		$10 \dots 12$	Первого прохода 400...425	Второго прохода 400...450
	26479-85*	$12,5 \dots 60$	450...1450	
	26480-85*	$25 \dots 41$	925...1500	

Окончание табл. 4

Тип протяжки	ГОСТ	Основные размеры, мм				
Сборные комбинированные переменного резания для десяти шлицевых отверстий с прямобочным профилем с центрированным по внутреннему диаметру	28044-89	$z \times d_1 \times D$		$L$		
		10×92×98 10×102×108		1600...1775		
	28045-89	10×92×98... 10×112×125		Первого прохода	Второго прохода	
				1350...1800	1250...1800	
28046-89	10×102×112... 10×180×200		Первого прохода	Второго прохода	Третьего прохода	
			1500...1800	1400...1800	1400...1800	
28047-89	10×160×180 10×180×200		Первого прохода	Второго прохода	Третьего прохода	Четвертого прохода
			1775	1775	1775	1700
С навертным хвостовиком для шлицевых отверстий с эвольвентным профилем с центрированием по наружному диаметру	28048-89	$D \times m$		$L$		
		50×1,5...120×2,5		850...1550		
	28049-89	90×2,5...120×2,5		Первого прохода		Второго прохода
				1265...1440		1065...1215
	28050-89	55×3...130×3		1150...1640		
55×3,5...130×3,5		1225...1640				
60×4...130×4		1325...1665				
70×5...120×5		1515...1565				
28051-89	90×3...130×3		Первого прохода		Второго прохода	
	70×3,5...130×3,5		1365...1515		1140...1265	
	70×4...130×4		1365...1615		1075...1340	
	70×5...130×5		1390...1600		1125...1290	
		1365...1640		1115...1315		

\* Основные параметры протяжек даны по ГОСТ с учетом изменений в редакции 1988 г.

Условные обозначения:  $b$  – ширина шпоночного паза;  $L$  – общая длина протяжки;  $d$  – номинальный диаметр отверстия после протягивания;  $z$  – число зубьев в шлицевом соединении;  $d_1$  и  $D$  – соответственно внутренний и наружный диаметр шлицевого соединения;  $m$  – модуль,  $S$  – размер квадрата.

### ОСНОВНЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ВНУТРЕННИХ ПРОТЯЖЕК

На рис. 3 представлены основные конструктивные элементы протяжек и прошивок на примере круглой и шпоночной протяжек, а также круглой прошивки, где  $l_1$  – хвостовая часть;  $l_2$  – шейка;  $l_3$  – переходный конус;  $l_4$  – передняя направляющая часть;  $l_p$  – режущая часть;  $l_k$  – калибрующая часть;  $l_5$  – задняя направляющая часть;  $l_6$  – опорная цапфа.

Хвостовик  $l_1$  служит для закрепления протяжки в патроне станка. Конструкция хвостовика зависит от типа протяжки и конструкции патрона. Хвостовики (передние и задние) могут выполняться заодно с протяжкой (цельные протяжки), привариваться к ней (сварные протяжки) или крепиться механически. Типы и основные размеры хвостовиков протяжек приведены на рис. 4 и в табл. 5. На рис. 5 и в табл. 6 представлена конструкция съемных хвостовиков (ГОСТ 28048-89), которые обеспечивают

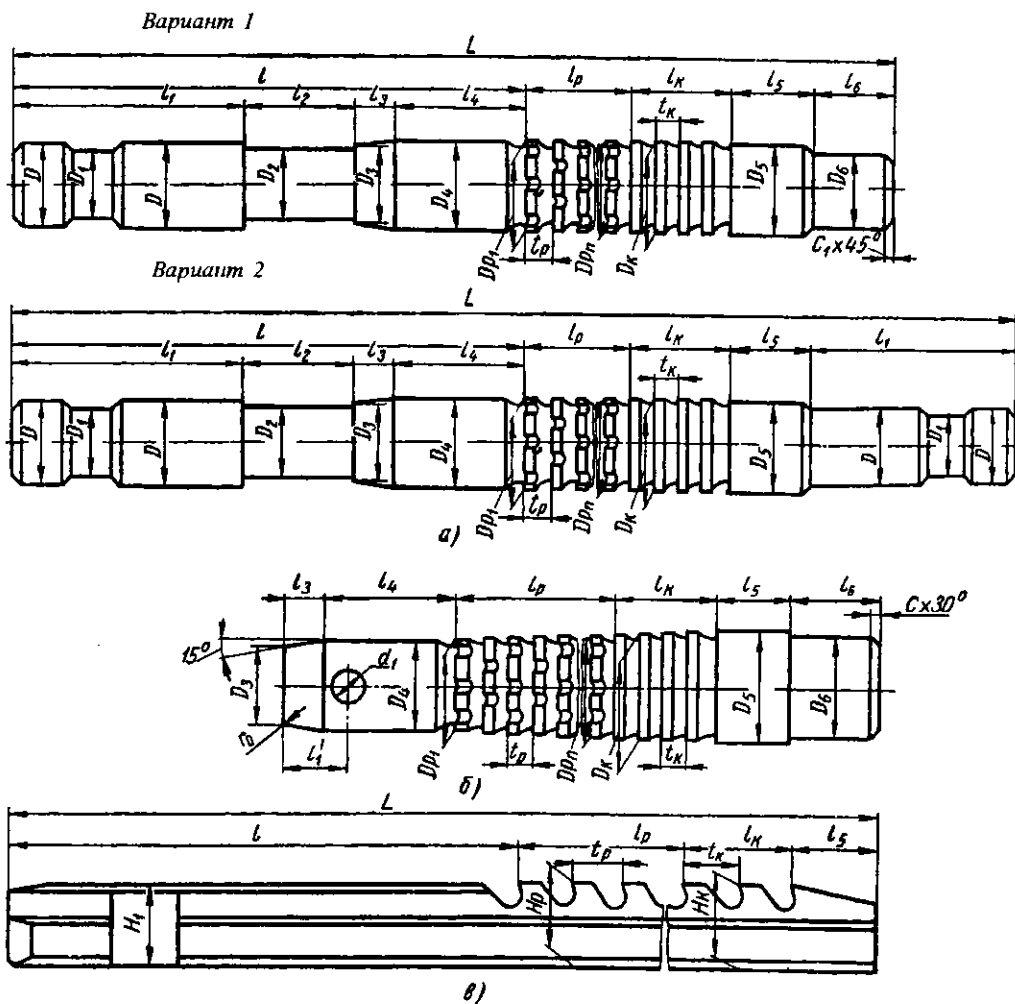


Рис. 3. Протяжки и прошивки для обработки отверстий:

а – круглая протяжка (вариант 1 – без заднего хвостовика; вариант 2 – с задним хвостовиком);  
 б – круглая прошивка; в – шпоночная протяжка

экономии инструментального материала и универсальности применения различных видов протяжек к патрону протяжного станка. Для крепления протяжки в патроне каретки обратного хода на станках, работающих по полуавтоматическому или автоматическому циклу, хвостовик может выполняться и со стороны калибрующей части (задний хвостовик – рис. 3, вариант 2). Форма и размеры заднего хвостовика часто принимаются такими же, как и переднего.

Шейка  $l_2$  и переходный конус  $l_3$  являются связующими звеньями между хвостовиком и

передней направляющей частью. На шейку обычно наносят маркировку протяжки, здесь же располагается сварной шов в случае сварных протяжек. Диаметр шейки принимается на 0,5...1,0 мм меньше диаметра хвостовника, а ее длина зависит от глубины протягиваемого отверстия, конструкции станка и размеров приспособления для крепления обрабатываемой заготовки. В ряде случаев, например для шпоночных протяжек, шейка специально не выделяется, а выполняется заодно с хвостовиком.

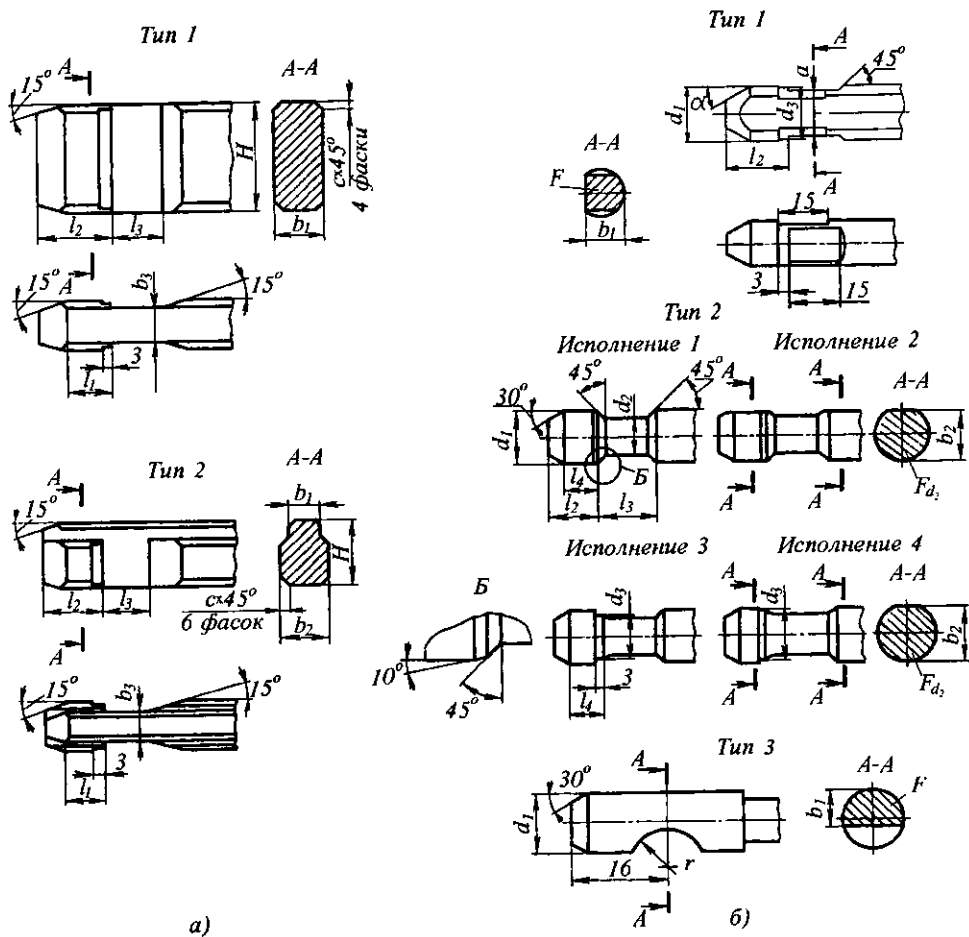


Рис. 4. Формы хвостиков протяжек:  
а - плоские; б - круглые

5. Основные размеры хвостиков, мм (рис. 4)

Хвостики плоские типа 1 (ГОСТ 4043-70 (в ред. 1988 г.))

$b_1$	$b_3$	$H$	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$c$	$b_1$	$b_3$	$H$	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$c$			
4	2,4	7	14	20	16	0,5	20	15	45	17	25	22	1,0			
5	3,2	11					22	16,5								
6	4	15					24	18								
7	4,5	16					25	19								
8	5	18					28	21								
10	7	22	32	24												
12	8	28	17	25	18	1,0	36	28	60	20	30	28				
14	10	30					40	32								
16	12	36					45	36								
18	13	40					22	50						40	28	40



Окончание табл. 5

Хвостовики плоские типа 2 (ГОСТ 4043-70 (в ред. 1988 г.))

H	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	l <sub>3</sub>	c	H	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	l <sub>3</sub>	c
4	2	3	1,5	14	20	16	0,3	11	5	8	5	14	20	16	0,5
5	2,5	4	2,5					15	6	10	6				
6	3						0,5	16	7	7	7				
7	4	6	4					18	8	12	8				0,8
								22	10	15	10				

Хвостовики круглые типа 1 (ГОСТ 4044-70 (в ред. 1981 г.))

d <sub>1</sub>	d <sub>3</sub>	a	b <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	F, мм <sup>2</sup>	α, °	d <sub>1</sub>	d <sub>3</sub>	a	b <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	F, мм <sup>2</sup>	α, °
4	3,8	2	3,7	16	6,6	-	8	7,8	5	7,5	16	35,4	-
5	4,8	3	4,6		13,2		10	9,8	6	9,5	20	61,5	10
5,5	5,3	3,3	5,1		15,8		12	11,7	8	11,5		85,2	
6	5,8	4	5,6		20,9		14	13,7	8	13,5	96,1		
7	6,8	4,2	6,5	23,8	16	15,7	10	15,5	145	20			
							18	17,7	12	17,5	193		

Хвостовики круглые типа 2 (ГОСТ 4044-70 (в ред. 1981 г.))

d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	l <sub>2</sub>	l <sub>3</sub>	l <sub>4</sub>	b <sub>2</sub>	F <sub>d<sub>2</sub></sub> , мм <sup>2</sup>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	l <sub>2</sub>	l <sub>3</sub>	l <sub>4</sub>	b <sub>2</sub>	F <sub>d<sub>2</sub></sub> , мм <sup>2</sup>
12	8	11,7	20	20	12	10,5	50,3	40	32	39,5	32	32	20	34,5	804,2
14	9,5	13,7				12,5	70,9	45	34	44,5				39,0	907,9
16	11	15,7				14,0	95,0	50	38	49,5				43,5	1134,1
18	13	17,7				16,0	132,7	56	42	55,4				48,5	1385,4
20	15	19,7	25	25	16	17,0	176,7	63	48	62,4	40	40	25	55,0	1809,6
22	17	21,7				19,0	227,0	70	53	69,4	61,0	2206,2			
25	19	24,7				21,5	283,5	80	60	79,2	69,5	2827,4			
28	22	27,6				24,0	380,1	90	70	89,2	78,5	3848,4			
32	25	31,6	32	32	20	27,5	490,9	100	75	99,2	50	50	32	87,0	4417,9
36	28	35,6				31,0	615,7								

Хвостовики круглые типа 3 (по нормалам предприятий)

d <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	r	F, мм <sup>2</sup>	d <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	r	F, мм <sup>2</sup>
5	3,4	3	14,3	8	5,4	4	36,3
5,5	3,8		17,6	9	6,0	5	45,3
6	4,0		20,1	10	6,8	6	57,2
7	4,7		27,6	11	7,5	8	69,4

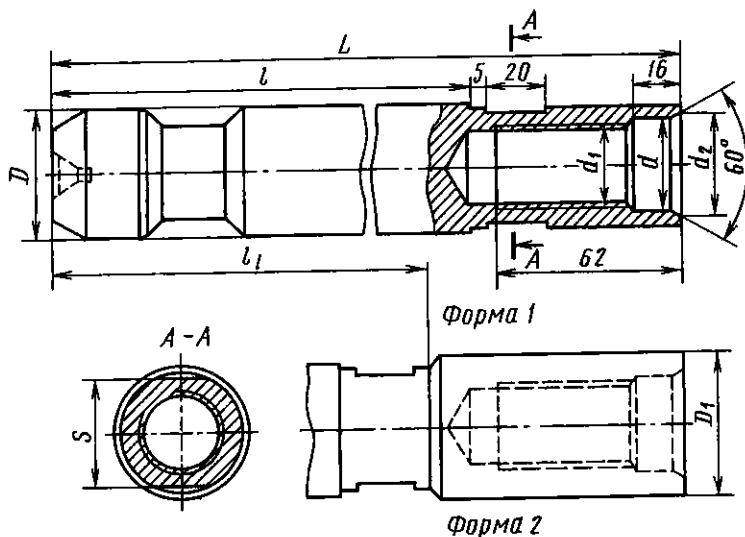


Рис. 5. Конструкция съемного хвостовика составных протяжек

6. Основные размеры съемного хвостовика, мм

Форма	D	D <sub>1</sub>	d	d <sub>1</sub> (поле допуска 7Н)	d <sub>2</sub>	L	l	l <sub>1</sub> (пред. откл. +2)	S (пред. откл. -1)
1	45	-	32	M30×2	36	230	160	-	41
						255			
	50		38	M36×3	42	230	190		55
						255			
2	63	70	50	M48×3	54	270	210	65	
						295	180		
1	70	-	-	-	-	190	-	-	

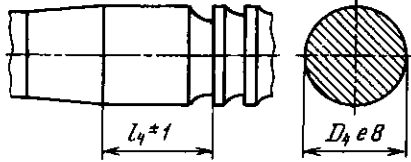
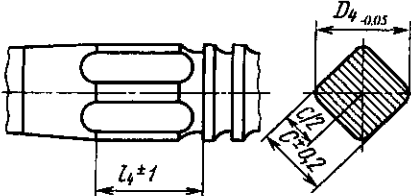
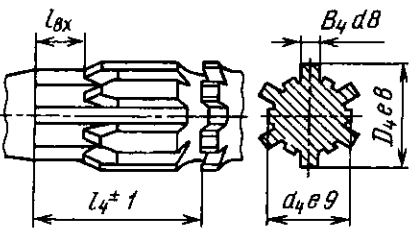
Передняя направляющая часть  $l_4$  служит для ориентации протяжки относительно оси обрабатываемой заготовки в начальный момент резания. Форму поперечного сечения и размеры передней направляющей выбирают в соответствии с формой и размерами обрабатываемой поверхности (табл. 7).

Задняя направляющая часть  $l_5$  (табл. 8) обеспечивает направление и центрирование детали в момент окончания обработки. В тех случаях, когда протяжка имеет значительную массу, для поддержания протяжки во время

рабочего и холостого хода задняя направляющая изготавливается с опорной цапфой  $l_6$ , которая располагается в специальном лонете.

На рабочей части протяжки расположены черновые, получистовые и чистовые зубья  $l_p$ , срезающие основной припуск с обрабатываемой поверхности заготовки, а также калибрующие зубья  $l_k$ , предназначенные для окончательного формирования обработанной поверхности заготовки, обеспечения стабильности размера и резерва для переточек.

## 7. Элементы конструкции передней направляющей части протяжек

Вид протяжки и эскиз	Размеры направляющей части
<p data-bbox="78 247 470 273">Круглые, шлицевые первого прохода</p> 	<p data-bbox="548 247 728 273">Диаметр <math>D_4 = d_0</math>.</p> <p data-bbox="548 290 985 315">Длина <math>l_4 = (0,75 \dots 1) l_0^*</math>, но не менее 40 мм.</p> <p data-bbox="548 333 985 358"><math>d_0</math> – диаметр отверстия под протягивание;</p> <p data-bbox="548 367 795 392"><math>l_0</math> – длина протягивания</p>
<p data-bbox="50 503 487 529">Круглые при протягивании "по-черному"</p> 	<p data-bbox="548 503 963 529">При протягивании "по-черному" размер</p> <p data-bbox="548 538 716 563"><math>C = (0,8 \dots 0,9) d_0</math></p>
<p data-bbox="28 794 509 854">Шлицевые второго и последующих проходов (при работе в комплекте)</p> 	<p data-bbox="548 794 1030 854">Диаметр <math>D_4 = d_{0 \text{ наим}} - (0,1 \dots 0,3)</math>, занижение на 0,3 мм берется при более глубоких шлицах;</p> <p data-bbox="548 862 660 888"><math>d_4 = d_{в \text{ наим}}</math>;</p> <p data-bbox="548 896 996 922">Длина <math>l_4 = (0,75 \dots 1,0) l_0^*</math>, но не менее 40 мм;</p> <p data-bbox="548 930 649 956"><math>l_{вх} = 0,3 l_4</math>.</p> <p data-bbox="548 965 996 990">Ширина шлицев <math>B_4 = B_{\text{наим}} - (0,05 \dots 0,1)</math> мм.</p> <p data-bbox="548 999 1008 1024"><math>d_{0 \text{ наим}}</math> – наименьший наружный диаметр шлицев втулки после предыдущего прохода;</p> <p data-bbox="548 1033 974 1058"><math>d_{в \text{ наим}}</math> – наименьший внутренний диаметр втулки после предыдущего прохода;</p> <p data-bbox="548 1067 996 1093"><math>B_{\text{наим}}</math> – наименьшая ширина шлицев втулки после предыдущего прохода</p>

\* Уменьшенную длину направляющей части  $l_4 = 0,75 l_0$  выполняют при больших  $l_0$ .

Стружечные канавки зубьев протяжки должны обеспечить свободное размещение стружки при обработке, а также оказывают влияние на прочность протяжки и характеризуются высотой зуба  $h$ , шагом  $t$ , шириной спинки  $q$ , формой и размерами переходных участков (рис. 6, табл. 9).

На рис. 6 представлены наиболее широко применяемые на практике профили зубьев про-

тяжки. Профиль зубьев с прямолинейной спинкой (рис. 6, в, з) рекомендуется при обработке серого чугуна и хрупких материалов, а также при обработке стали при больших шагах зубьев; профиль зуба с радиусной спинкой (рис. 6, а, б) – при обработке стали, ковкого чугуна и других материалов, дающих сливную стружку; профиль зуба с удлиненной впадиной (рис. 6, б, з) рекомендуется при большой длине протягивания.

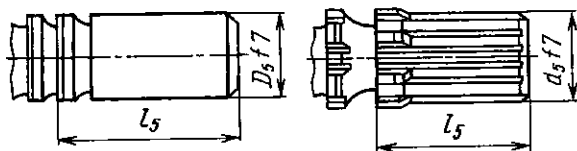
8. Элементы конструкции задней направляющей части, мм

Диаметр задней направляющей части

Вид протяжки и эскиз

Круглая

Шлицевая

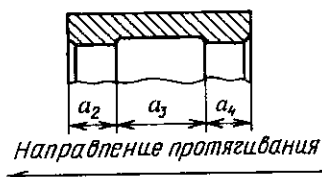


$D_5, d_5$  – наименьший диаметр протянутого отверстия

Длина задней направляющей части

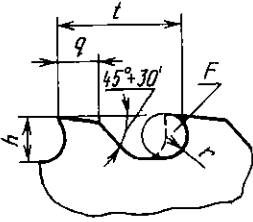
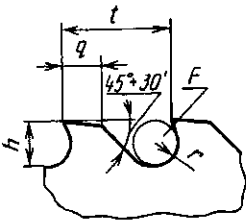
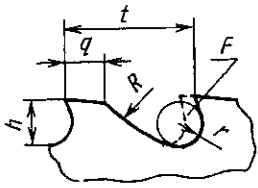
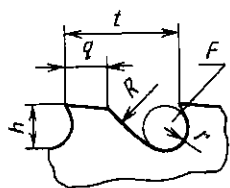
Длина протягивания $l_0$	До 25	Св. 25 до 30	Св. 30 до 40	Св. 40 до 50	Св. 50 до 70	Св. 70 до 100	Св. 100
Длина задней направляющей части $l_5$	20	25	30	35	45	50...65	70

Примечание. При протягивании двух соосных отверстий или отверстия с выточкой  $l_5 = a_2 + a_3 + 20$  мм.



С радиусной спинкой

С прямолинейной спинкой



С удлиненной стружечной канавкой (У)

С удлиненной стружечной канавкой (У)

а)

б)

в)

г)

Рис. 6. Профили зубьев протяжек

Стандартизированные профили зубьев протяжек приведены в табл. 9 [рис. 6, а, б – круглые протяжки (ГОСТ 20365–74 (в ред. 1988 г.)), рис. 6, а, б, г – шпоночные протяжки (ГОСТ 18217–90)].

Табл. 9 носит общий характер, поэтому представленные геометрические и конструктивные

параметры профилей зубьев необходимо уточнять в соответствии с машиностроительными нормами в каждом конкретном случае обработки.

В целях обеспечения плавности работы протяжки шаг режущих зубьев целесообразно делать неравномерным (ГОСТ 20365–74. Приложение 2).

## 9. Размеры зубьев протяжек, мм

Круглые протяжки. ГОСТ 20365-74 (рис. 6, а, б)

Номер профиля	$t$	$h$	$r$	$q$	$R$	Активная площадь $F$ , мм <sup>2</sup>	Номер профиля	$t$	$h$	$r$	$q$	$R$	Активная площадь $F$ , мм <sup>2</sup>
1	4,0	1,6	0,8	1,5	2,5	1,77	7	12	4,0	2,0	5,5	6,0	12,6
2		1,8	0,9	1,2	2,8	2,54	8		4,5	2,3	5,0	7,0	15,9
1	4,5	1,6	0,8	2,0	2,5	1,77	9	13	5,0	2,5	4,0	8,0	19,6
2		1,8	0,9	1,7	2,8	2,54	7У		4,0	2,0	5,5	6,0	12,6
3		2,0	1,0	1,5	3,0	3,14	8		4,5	2,3	6,0	7,0	15,9
1У	5,0	1,6	0,8	2,2	2,5	1,77	9	14	5,0	2,5	5,0	8,0	19,6
2		1,8	0,9		2,8	2,54	8У		4,5	2,3	6,0	7,0	15,9
3		2,0	1,0	2,0	3,0	3,14	9		5,0	2,5		8,0	19,6
1У	5,5	1,6	0,8	2,5	2,5	1,77	10	15	6,0	3,0	4,5	10,0	28,3
2		1,8	0,9	2,7	2,8	2,54	8У		4,5	2,3	6,0	7,0	15,9
3		2,0	1,0	2,5	3,0	3,14	9		5,0	2,5	7,0	8,0	19,6
2У	6,0	1,8	0,9	2,7	2,8	2,54	10	16	6,0	3,0	5,5	10,0	28,3
3		2,0	1,0	3,0	3,0	3,14	9У		5,0	2,5	7,0	8,0	19,6
4		2,5	1,3	2,0	4,0	4,90	10		6,0	3,0	6,5	10,0	28,3
3У	7,0	2,0	1,0	3,5	3,0	3,14	11	17	7,0	3,5	5,0	11,0	38,5
4		2,5	1,3	3,0	4,0	4,90	9У		5,0	2,5	7,0	8,0	19,6
5		3,0	1,5	2,3	5,0	7,10	10		6,0	3,0	7,5	10,0	28,3
4	8,0	2,5	1,3	4,0	4,0	4,90	11	18	7,0	3,5	6,0	11,0	38,5
5		3,0	1,5	3,3	5,0	7,10	10		6,0	3,0	8,5	10,0	28,3
6		3,6	1,8	2,5	5,5	9,60	11		7,0	3,5	7,0	11,0	38,5
4У	9	2,5	1,3	4,0	4,0	4,9	12	19	8,0	4,0	6,0	12,0	50,3
5		3,0	1,5	4,3	5,0	7,1	10У		6	3,0	8,5	10	28,3
6		3,6	1,8	3,5	5,5	6,6	11		7	3,5	8,0	11	38,5
5У	10	3,0	1,5	4,3	5,0	7,1	12	20	8	4,0	7,0	12	50,3
6		3,6	1,8	4,5	5,5	9,6	11		7	3,5	9,0	11	38,5
7		4,0	2,0	3,5	6,0	12,6	12		8	4,0	8,0	12	50,3
6У	11	3,6	1,8	4,5	5,5	9,6	13	21	9	4,5	6,0	14	63,6
7		4,0	2,0		6,0	12,6	11У		7	3,5	9,0	11	38,5
8		4,5	2,3	4,0	7,0	15,9	12		8	4,0	9,0	12	50,3

Примечание. Удлиненная форма профиля У выполняется тем же резцом при его продольном перемещении.

Окончание табл. 9

Номер профиля	$t$	$h$	$r$	$q$	$R$	Активная площадь $F$ , мм <sup>2</sup>	Номер профиля	$t$	$h$	$r$	$q$	$R$	Активная площадь $F$ , мм <sup>2</sup>
13	21	9	4,5	7,0	14	63,6	13У	26	9	4,5	10,0	14	63,6
11У	22	7	3,5	9,0	11	38,5	14		10	5,0		16	78,5
12У		8	4,0	9,0	12	50,3	13У	28	9	4,5	10,5	14	63,6
13	9	4,5	8,0	14	63,6	14У	10		5,0	16		78,5	
12У	24	8	4,0	9,0	12	50,3	15	30	12	6,0	9,5	20	113,1
13		9	4,5	10,0	14	63,6	13У		9	4,5	12	14	63,6
14	10	5,0	8,5	16	78,5	14У	10	5,0	16	78,5			
12У	25	8	4,0	10,0	12	50,3	15	32	12	6,0	11,5	20	113,1
13У		9	4,5	10,0	14	63,6	13У		9	4,5	12	14	63,6
14	10	5,0	9,5	16	78,5	14У	10	5,0	16	78,5			
12У	26	8	4,0	10,5	12	50,3	15У	32	12	6,0	12	20	113,1

Протяжки шпоночные. ГОСТ 18217-90 (рис. 6, а, б, з)

Номер профиля	$t$	$h$	$q$	$r$	$R$	Активная площадь $F$ , мм <sup>2</sup>	Номер профиля	$t$	$h$	$q$	$r$	$R$	Активная площадь $F$ , мм <sup>2</sup>
1	4,5	2,0	1,5	1,0	3	3,1	8	12,0	5,0	4,0	2,5	8	19,6
1У			1,2				8У	14,0					
			1,7				9		6,0	3,0	10	28,3	
2	6,0	2,5	2,0	1,3	4	4,9	10	16,0	7,0	5,0	3,5	11	38,5
3	7,0	3,0	2,2	1,5	5	7,1	10У		4,5				
4	8,0	2,7	3,0			2,0	6	5,7	11	18,0	8,0	6,0	4,0
5	9,0	4,0		12,6	11У			5,0					
5У		2,5	9,6	12	20,0	9,0	5,5	4,5	14	63,6			
6	10,0	3,5	3,0	2,3	7	9,6	13	24,0	10,0	7,0	5,0	16	78,5
7		4,5	15,9			14	26,0	12,0	6,5	6,0	18	113,1	
							15	32,0	14,0	9,0	7,0	22	153,9

Примечание. Форма зубьев (рис. 6, а, б) является предпочтительной.

*Стружкоделительные канавки и выкружки.* Для облегчения образования и удаления стружки на режущих зубьях протяжек, работающих по односторонней схеме срезания припуска, вышлифовываются в шахматном порядке стружкоделительные канавки.

На круглых протяжках расстояние между канавками  $b_k$  делается примерно равным 0,15...0,30 диаметра протяжки, но не более 10 мм. Угол  $\omega_k$  между сторонами канавки берется в пределах 45...60°.

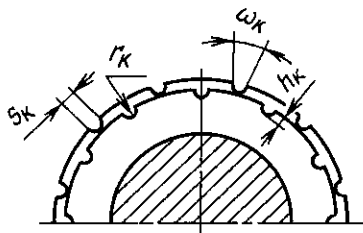
На шпоночных, шлицевых и многогранных протяжках стружкоделительные канавки располагаются так, чтобы расстояние между

ними  $b_k$  на одном зубе не превышало 5 мм. При длине кромки менее 5 мм вместо стружкоделительных канавок делают чередующиеся фаски на одной стороне зуба.

Расстояние  $b_k$  от края главных режущих лезвий до первой канавки не должно быть менее 2...2,5 мм, чтобы не ослаблять лезвие. Рекомендуемое количество канавок, а также их размеры приведены в табл. 10 и 11.

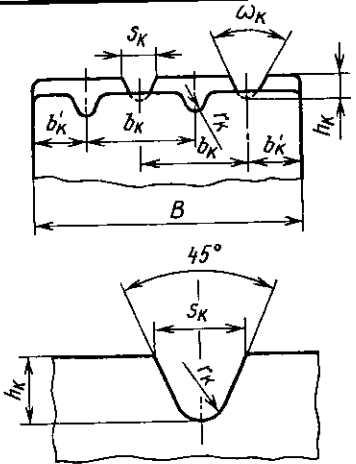
При работе протяжки по групповой схеме срезания припуска на ее зубьях изготавливаются выкружки, форма и размеры которых представлены в табл. 12 и 13.

### 10. Количество и размеры стружкоделительных канавок для круглых протяжек

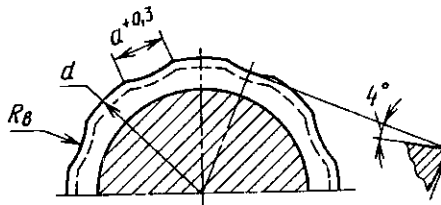


Диаметр протяжки, мм	Количество канавок $n_k$	Размеры канавок, мм		
		$s_k$	$h_k$	$r_k$
От 10 до 13	6	0,6...0,8	0,4...0,6	0,2...0,3
Св. 13 » 16	8	0,8...1	0,5...0,7	
» 16 » 20	10			
» 20 » 25	12			
» 25 » 30	14			
» 30 » 35	16			
» 35 » 40	18			
» 40 » 45	20			
» 45 » 50	22			
» 50 » 55	24	1...1,2	0,7...0,8	
» 55 » 60	28			
» 60 » 65	30			
» 65 » 70	32			
» 70 » 75	34			
» 75 » 80	36			

**11. Количество и размеры стружкоделительных канавок для шпоночных, шлицевых, прямоугольных и плоских протяжек**

	Ширина зубьев протяжек, мм	Количество канавок $n_k$	Размеры канавок, мм		
			$s_k$	$h_k$	$r_k$
	От 6 до 7,9	1	0,8...1	0,5...0,7	0,2...0,3
	» 8 » 10	1			
	Св. 10 » 20	2	1...1,2	0,7...0,8	0,3...0,4
	» 20 » 30	3			
	» 30 » 45	4			
	» 45 » 60	6			
	» 60 » 75	8			
	» 75 » 100	10			
	» 100 » 125	12			
	» 125 » 150	14			

**12. Выкружки для разделения стружки на зубьях круглых протяжек, мм**



$R_b = 22,5 \text{ мм} (z_c = 1; z_c = 2)$

Чистовые несекционные зубья  $z_c = 1$

$d$	$i$	$a$	$d$	$i$	$a$	$d$	$i$	$a$	$d$	$i$	$a$
8...8,5	4	2	18,1...19,5	6	3,3	37,1...38	8	5,7	65,1...68	12	6,7
8,6...9		2,2	19,6...21		3,7			68,1...72	5,5		
9,1...10		2,4	21,1...23		4,1			72,1...76	14		6
10,1...11		2,8	23,1...25		3						4,6
11,1...12		3,2						25,1...27	3,3		42,1...45
12,1...13	6	2	27,1...29	3,6	45,1...48	10	5,5	87,1...92	6,5		
			29,1...31	4	48,1...53			5	92,1...98	16	7
13,1...14		2,2	31,1...33	4,4	56,1...59			5,4	98,1...103	7,5	
14,1...15		2,4	33,1...35	4,8	59,1...62			5,8	103,1...109	8	
15,1...16,5		2,6	35,1...37	5,2	62,1...65			6,2	109,1...120	18	7,5
16,6...18		2,9									7,5



Зубья двузубых секций  $z_c = 2$ 

$d$	$i$	$a$	$S_s$	$d$	$i$	$a$	$S_s$	$d$	$i$	$a$	$S_s$
8...8,5	4	3	0,11	28,1...30,5	8	6	0,18	64,1...68	14	7,5	0,19
8,6...9		3,3	0,13	30,6...33		6,5	0,20	68,1...72		8	0,21
9,1...10		3,6	0,15	33,1...35,5		7	0,22	72,1...76		8,5	0,23
10,1...11		4	0,17	35,6...38		7,5	0,25	76,1...81		9	0,25
11,1...12		4,5	0,19	35,6...38		6	0,16	76,1...81		8	0,21
12,1...13,5	6	3,5	0,11	38,1...41	10	6,5	0,18	81,1...85	16	8,5	0,23
13,6...15		4	0,13	41,1...44		7	0,20	85,1...89		9	0,25
15,1...17		4,5	0,15	44,1...47		7,5	0,22	89,1...94		9,5	0,27
17,1...19		5	0,17	47,1...50		8	0,24	94,1...99		10	0,29
19,1...21		5,5	0,19	50,1...53		8,5	0,27	99,1...104		10,5	0,32
21,1...23		6	0,21	53,1...56		7	0,19	104,1...109		11	0,35
21,1...23	8	4	0,10	53,1...56	12	7,5	0,21	104,1...109	18	9,5	0,26
23,1...24		4,5	0,12	56,1...60		8	0,23	109,1...114		10	0,29
24,1...26		5	0,14	60,1...64		8,5	0,25	114,1...120		10,5	0,32
26,1...28		5,5	0,16	64,1...68		9	0,27				

Зубья трехзубых секций  $z_c = 3$ 

$d$	$i$	$a$	$R_s$	$d$	$i$	$a$	$R_s$	$d$	$i$	$a$	$R_s$	
14,6...14,9	4	7,5	22,5	20,5...21,1	6	7,2	22,5	36,7...38,5	8	10	30	
15...15,4		7,7		21,2...21,8		7,5		38,6...40,4		10,5		22,5
				21,9...22,5		7,7		40,5...42,3		11		
			22,6...23,3	8								
15,5...15,9		8	23,4...24	8,2		42,4...44,2		11,5				
16...16,4		8,2	24,1...24,7	8,5		44,3...46,1		12				
16,5...16,9		8,5	24,8...25,4	8,7		46,2...48		12,5		30		
17...17,3		8,7	25,5...26,1	9		48,1...50		13				
			26,2...26,8	9,2		50,1...51,9		13				
			26,9...27,8	9,5								
17,4...17,8	9	50	27,9...29,2	10	30	50,1...52,6	10	11	30			
17,9...18,3	9,2		29,3...30,6	10,5		52,7...55		11,5		22,5		
18,4...18,8	9,5		30,7...32	11		55,1...57,3		12				
18,9...19,3	9,7		32,1...33,4	11,5		57,4...59,6		12,5				
19,4...19,8	10		33,5...34,8	12								
19,9...20,3	10,2		34,9...36,2	12,5		59,7...61,9		13				
20,4...21	10,5		36,3...37,6	13		62...64,2		13,5		30		
21,1...21,9	11		37,7...39	13,5		64,3...66,5		14				

Окончание табл. 12

$d$	$i$	$a$	$R_n$	$D$	$i$	$a$	$R_n$	$d$	$i$	$a$	$R_n$
63...65,7	12	11,5	22,5	73,9...76,5	12	13,5	30	83,4...86,6	14	13	22,5
65,8...68,5		12		76,6...79,2		14		86,7...89,9		13,5	
68,6...71,2		12,5		76,4...80	14	12	90...93,2	14			
71,3...73,8		13				12,5	22,5	93,3...96,5		14,5	
										15	30

Примечания: 1. Число выкружек на чистовых несекционных зубьях и на зубьях последней секции одинаково. Поэтому на протяжке с многозубыми секциями последняя секция должна быть двузубой. На несекционных зубьях выкружки располагаются в шахматном порядке по отношению друг к другу и первому зубу последней секции.

2. При  $z_c = 2$  надежное разделение стружки обеспечивается при подачах  $S_n$ , не превышающих указанных в таблице.

3. При  $z_c = 3$  допускается величина  $S_n$  до 0,5 мм.

4.  $d$  – интервал диаметров зубьев;  $i$  – число выкружек;  $a$  – ширина выкружек;  $S_n$  – подача, допускаемая условиями разделения стружек;  $R_n$  – радиус выкружки.

### 13. Выкружки, лыски и фаски для разделения стружки на шлицевых и фасочных зубьях шлицевых протяжек, мм

Схема I. Зубья с выкружками для разделения стружки

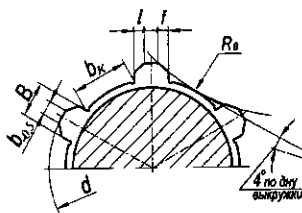


Схема II. Зубья с лысками для разделения стружки

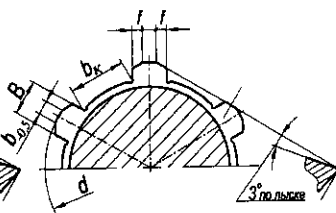
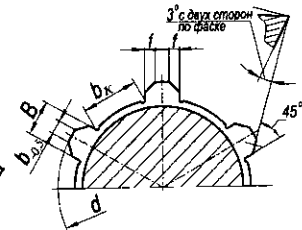


Схема III. Зубья с фасками для разделения стружки



$$b = B - 2F; \quad b_k = \frac{\pi d}{n} - B$$

Диаметры зубьев протяжек $d$	Число шлицев $n$	$B$	$f$	$R_n$	$S_n$		
					Схема I	Схема II	
13...15	6	3,5	0,75	22,5	0,16	-	
14...17		4					
15...19		4,5					
17...22		5	1,0	22,5	0,2	-	
21...25		6					
24...28		7	1,5	50	0,25	0,15	
25...32		8					
30...35		9					
32...42		10					
38...45		11					
42...50		13	2,5	75	0,3	0,22	
47...55		14					
51...65		15...16					3,0
							0,35

Продолжение табл. 13

Диаметры зубьев протяжек $d$	Число шлицев $n$	$B$	$f$	$R_n$	$S_n$	
					Схема I	Схема II
26...38	8	6	1,0	50	0,17	—
34...45		7			0,2	
40...55		8...9,5	0,3			
49...65		10	1,5	65		
Диаметры зубьев протяжек $d$	Число шлицев $n$	$B$	$f$	$R_n$	$S_n$	
					Схема I	Схема III
16...20	10	3	0,75	—	—	0,16
18...22		3,5	1,0	22,5	0,10	0,16
20...25		4			0,12	0,16
22...30		4,5			0,12	0,2
26...42		5...6			0,13	0,2
36...45		7	0,17		0,2	
40...50		8	1,5		0,21	0,3
45...60		9			0,23	0,3
53...70		10...11			0,27	—
65...80		12	2		0,3	—
73...90	14	50			0,3	—
Диаметры зубьев протяжек $d$	Число шлицев $n$	$B$	$f$	$R_n$	$S_n$	
					Схема I	Схема III
30...38	16	3,5	0,75	—	—	0,15
36...42		4	1,0	—	—	0,22
39...50		4,5...5	1,25	22,5	0,12	0,25
47...55		5,5			0,14	0,3
52...65		5	1,0		0,16	0,3
57...80		6	1,25		0,16	0,3
	6,5	1,5	0,20		0,3	

Примечания: 1. Схема I рекомендуется для всех размеров отверстий при числе шлицев 6 и 8, но при  $d \geq 30$  мм и при числе шлицев 6, предпочтительнее применять лыски как более простые в изготовлении.

2. Схема II рекомендуется для всех размеров отверстий при числе шлицев 4 и для отверстий диаметром свыше 30 мм, при числе шлицев 6.

3. Схема III рекомендуется при числе шлицев 1–3 и ширине паза или шлицев до 18 мм.

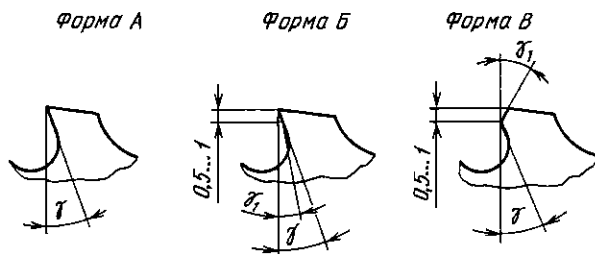
4. Надежное разделение стружки обеспечивается при подачах не выше значений  $S_n$ , приведенных в таблице.

5. Изготовление лысок проще, чем выкружек, а выкружек проще, чем фасок.

*Геометрические параметры зубьев внутренних и наружных протяжек.* Передний угол  $\gamma$  оказывает влияние на усилие протягивания, качество обработанной поверхности и стойкость протяжки. Задний угол  $\alpha$  необходимо назначать

исходя из обеспечения стойкости протяжки и сохранения формообразующих размеров в течение возможно длительного времени. Геометрические и конструктивные размеры, а также формы зубьев протяжек представлены в табл. 14–16.

14. Геометрические параметры зубьев внутренних и наружных протяжек



Группа заточки	Передний угол $\gamma$				Рекомендуемые материалы по группам обрабатываемости
	черновых и переходных зубьев		чистовых и калибрующих зубьев		
	Форма	Значение, °	Форма	Значение, °	
I	А	20*	А	20*	Стали I группы обрабатываемости, алюминиевые сплавы X группы обра- батываемости
II		15*		18*	Стали II и III групп обрабатываемости
III		10	Б	10	Стали IV и V групп обрабатываемости
IV					Чугун ковкий VI и VII групп обрабаты- ваемости
V			В		Чугун серый VI и VII групп обрабаты- ваемости, бронза, латунь VIII и IX групп обрабатываемости

\* Для протяжек диаметром до 20 мм, а также любого диаметра при высоте профиля зубьев  $h < 2,5$  мм, допускается передний угол  $\gamma = 10^\circ$ ; для протяжек диаметром свыше 20 до 30 мм –  $\gamma = 12^\circ$ .

Примечания: 1. Для IV и V групп заточек  $\gamma_1 = 0...5^\circ$ .

2. Для твердосплавных протяжек рекомендуется выполнять дополнительно заточенные фаски по передней ( $f_n$ ) и задней ( $f_s$ ) поверхности шириной  $f_n = 0,5...1,0$  мм и  $f_s = 0,1...0,5$  мм под передним углом  $\gamma_\phi = 0...5^\circ$  и задним углом  $\alpha_\phi = 0...3^\circ$ .

15. Значения передних и задних углов, °, зубьев твердосплавных протяжек для резания с высокими скоростями (30...50 м/мин)

Обрабатываемый материал	Твердость НВ	Материал рабочей части протяжек	$\gamma$	$\gamma_\phi$	$\alpha$	$\alpha_\phi$
Сталь: низкоуглеродистая	160...190	ТТ7К12 Т5К12В	10	5	6	1°30'...3°
		Т5К10 Т14К8 ВК6М	6	-5	4	До 0

Окончание табл. 15

Обрабатываемый материал	Твердость НВ	Материал рабочей части протяжек	$\gamma$	$\gamma_{\phi}$	$\alpha$	$\alpha_{\phi}$
среднеуглеродистая	180...220	ТТ7К12 Т5К12В	8	3	6	1°30'...3°
		Т5К10 Т14К8 ВК6М				До 0
высокоуглеродистая	200	ТТ7К12 Т5К12В	6	0...2	4	1°30'...3°
		Т5К10 Т14К8 ВК6М				До 0
Коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы	—	ВК6М	5...8	—5		
Серый чугун	180...220	ВК6М ВК8		0		
Бронза	—				6	

Примечания: 1.  $\gamma_{\phi}$  и  $\alpha_{\phi}$  — передний и задний углы дополнительно заточенных фасок  $f_n$  и  $f_s$ .  
2. Ширина фаски по передней грани зуба  $f_n = 0,5 \dots 1$  мм, по задней —  $f_s = 0,1 \dots 0,5$  мм.

### 16. Значения задних углов зубьев протяжек

Протяжки	Вид зубьев				
	черно- вые	чисто- вые	калиб- рующие	черновые	чистовые и калибрующие
	Задний угол $\alpha$ , °			Допуск заднего угла, '	
Круглые и шлицевые	3	2	1	+30	±15
Шпоночные	3	2	2		+30
Наружные регулируемые	3...4	3...4	3...4		+30
Наружные нерегулируемые	3...4	2	1...2		±15

### ПРОТЯГИВАНИЕ НАРУЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

При наружном протягивании за одну операцию осуществляют обработку возможно большего числа сопряженных поверхностей заготовки. Для этого отдельные простые протяжки соединяются в протяжные блоки, которые, как правило, состоят из основания, представляющего собой плиту, и смонтированной на нем державки. Основание крепят к ползуину

вертикально-протяжного станка сухарями, входящими в Т-образные пазы ползуина. В некоторых конструкциях протяжных блоков основание отсутствует, и державки с закрепленными на них протяжками крепят непосредственно к ползуину вертикально-протяжного станка. Нужно расположение протяжек и державок на основании обеспечивается точно обработанными пазами, уступами, шпонками и упорами, а их регулирование осуществляется регулировочными клиньями.

Производительность и себестоимость операции протягивания зависят не только от схемы срезания припуска и геометрических параметров зубьев протяжки, но в большей степени от конструкции протяжного блока. Конструкцией блока определяются: параметры качества обработки поверхностей, время на смену затупившихся протяжек, способ перетачивания затупившихся зубьев и наибольшая эффективность использования инструментального материала.

При проектировании блока необходимо учитывать: возможность расчленения сложного профиля заготовки на элементарные участки, обрабатываемые набором простых технологических протяжек; последовательность расположения протяжек; целесообразность системы подналадки; обеспечение удобного регулирования протяжек; в случаях высоких требований к параметрам качества обработанной поверхности и ее точности возможность установки клиньев для черновых и чистовых протяжек; направление сил, действующих в процессе протягивания на заготовку (силы должны вызывать минимальную деформацию жестких заготовок); способ крепления протяжек на основании, который должен обеспечивать надежность крепления, свободный отвод стружки, минимальные габариты протяжек и быструю их смену.

Смену и подналадку протяжек выполняют двумя способами: подналадкой вне станка или подналадкой на станке. При первом способе осуществляют смену всего протяжного блока или смежных кассет с протяжками, что повышает качество сборки протяжного блока и подналадки протяжек, но требует организации специализированного участка. Подналадку протяжек непосредственно на станке выполняют без снятия блоков и кассет.

В блоках протяжки могут быть расположены по схемам: параллельной, последовательной или смешанной.

Протяжные блоки с параллельной схемой расположения протяжек компактны, имеют минимальную длину рабочего хода и, следовательно, высокую производительность обработки. Основные недостатки таких блоков: осуществление подналадки протяжек вне станка; регулирование чистовых и черновых протяжек общими клиньями, что нерационально вследствие различного периода стойкости чистовых и черновых протяжек; затрудненный отвод стружки, особенно при протягивании загото-

вок из вязких материалов; нетехнологичная, как правило, конструкция плоских односторонних и двусторонних протяжек.

Протяжные блоки с последовательной схемой расположения протяжек лишены недостатков предыдущей схемы, однако имеют большую длину рабочего хода и, следовательно, меньшую производительность обработки (рис. 7).

В протяжных блоках со смешанной схемой расположения черновые и чистовые протяжки размещены наиболее рационально, что позволяет осуществить их раздельное регулирование клиньями, создает условия силовой компенсации сил резания на боковых или фасонных протяжках, работающих в одной секции. Поэтому качество поверхности, обработанной таким блоком, значительно выше. Сочетание параллельного и последовательного размещения плоских односторонних и двусторонних протяжек в блоке, круглых и фасонных протяжек по секциям позволяет получить все достоинства предыдущих схем протягивания.

Общая длина протяжного блока  $L_{об.п} = l_p + l_k + l_y$ , где  $l_p$ ,  $l_k$  и  $l_y$  — соответственно длина режущей части, суммарная длина крепежной части и ширина упора, необходимые для закрепления секций протяжек.

## ПРОТЯЖКИ ПОВЫШЕННОЙ СТОЙКОСТИ

Сборная протяжка повышенной стойкости представляет собой оправку, на которую насажены зубья: режущие 1, чистовые 2, калибрующие 3 и деформирующие 4 (рис. 8). Между зубьями протяжки установлены промежуточные стальные втулки 5, образующие канавки для стружки. На оправке устанавливают сменные направляющие: переднюю 6 и заднюю 7. Цилиндрический посадочный пояс в передней части оправки служит для центрирования съемного переднего хвостовика (замковой части). Особенностью протяжки является полная взаимозаменяемость отдельных ее элементов. В случае выхода из строя отдельных зубьев или других деталей производится несложная разборка протяжки с заменой вышедших из строя элементов новыми. Оправку с зубьями соединяют по посадкам Н6/н5, Н7/н6, что обеспечивает быструю и качественную сборку и разборку протяжек. Протяжки, зубья которых выполнены из мелкозернистого твердого сплава ВК10М, имеют длительный

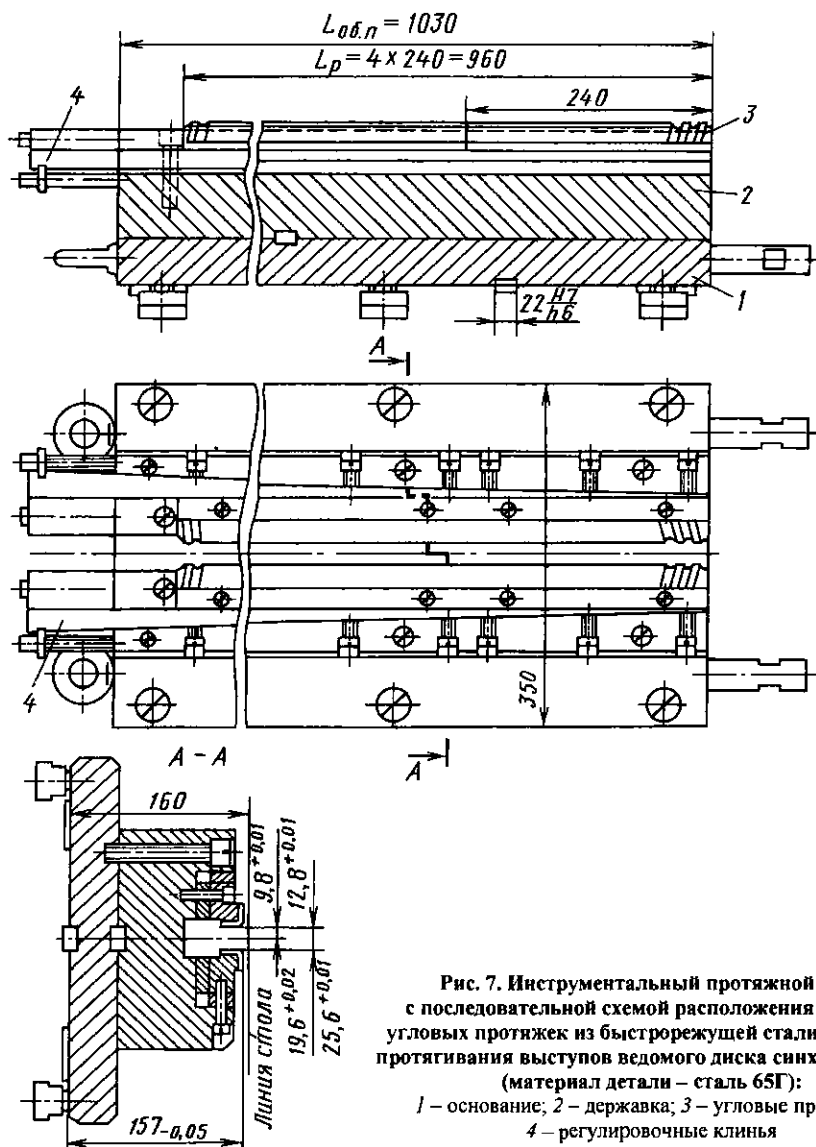


Рис. 7. Инструментальный протяжной блок с последовательной схемой расположения плоских угловых протяжек из быстрорежущей стали Р6М5 для протягивания выступов ведомого диска синхронизатора (материал детали – сталь 65Г):

1 – основание; 2 – державка; 3 – угловые протяжки; 4 – регулировочные клинья

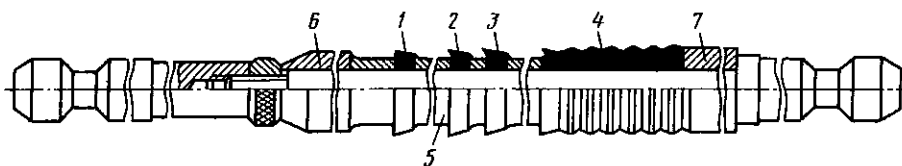


Рис. 8. Сборная твердосплавная протяжка повышенной стойкости

период стойкости. Передний угол  $\gamma$  твердосплавных зубьев одинаков для черновых, чистовых и калибрующих зубьев и равен:  $10^\circ$  при обработке чугуновых заготовок и  $15^\circ$  при обработке заготовок из конструкционной стали. На передней поверхности всех зубьев выполняют "нулевую" фаску шириной 0,6 мм, а на задней поверхности зубьев "нулевую" фаску шириной 0,1 мм. При протягивании отверстий в заготовках из чугунов СЧ 15, СЧ 18 и СЧ 21 со скоростью резания 2...8 м/мин и с использованием в качестве СОЖ 10 %-ного раствора эмульсола стойкость между переточками сборных твердосплавных протяжек составляет 5000...8000 м протянутой поверхности.

Для повышения качества обработки, например получения параметра шероховатости поверхности  $Ra = 0,63...1,25$  мкм, в сборных твердосплавных протяжках предусматривают деформирующие зубья, которые устанавливают после калибрующих зубьев. Деформирующие зубья имеют постоянную геометрию и представляют собой два усеченных конуса, между которыми расположена цилиндрическая ленточка. Рекомендуемые значения угла наклона конических поверхностей —  $5^\circ$ , ширины цилиндрической ленточки — 0,3 мм. Параметр шероховатости поверхности  $Ra$  (мкм) должен соответствовать: цилиндрической ленточки — 0,16, конических поверхностей деформирующих

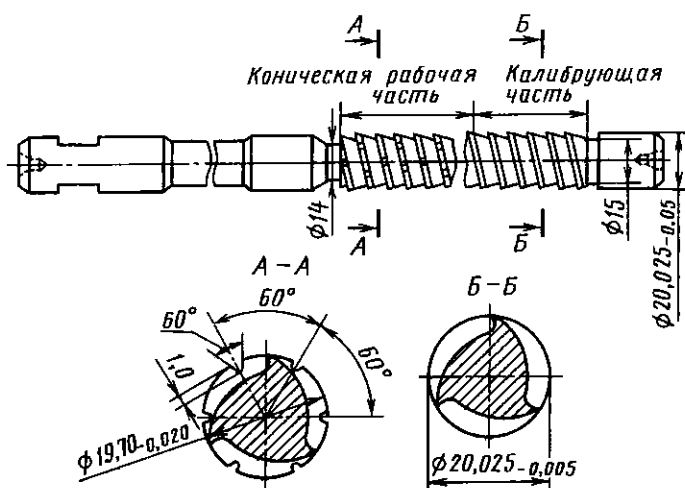
зубьев — 0,32. Общее число деформирующих зубьев равно шести, суммарный натяг на диаметр составляет 0,04...0,08 мм. Диаметры  $D_{пр}$  деформирующих зубьев определяют в следующей последовательности: первый зуб  $D_{1пр} = D_{max} - 0,01$  мм; второй зуб  $D_{2пр} = D_{max} + 0,01$  мм; третий зуб  $D_{3пр} = D_{max} + 0,03$  мм; четвертый зуб  $D_{4пр} = D_{max} + 0,05$  мм; пятый зуб  $D_{5пр} = D_{max} + 0,05$  мм; шестой зуб  $D_{6пр} = D_{max} + 0,01$  мм, где  $D_{max}$  — максимальный диаметр обрабатываемого отверстия (мм), округленный до сотых долей миллиметра.

Диаметр калибрующих зубьев при наличии деформирующих зубьев  $D_k = D_{max} - 0,02$  мм.

Сборные твердосплавные протяжки стабильно обеспечивают параметр шероховатости протянутой поверхности  $Ra = 0,63...1,25$  мкм и 7-й квалитет точности при протягивании отверстий в таких деталях, как тормозные цилиндры автомобилей и тракторных прицепов, картеры амортизаторов, цилиндры пусковых двигателей тракторов и т.д. Повышение точности размеров и формы отверстий достигается применением промежуточной втулки перед чистовыми зубьями. Длина этой втулки равна длине обрабатываемого детали.

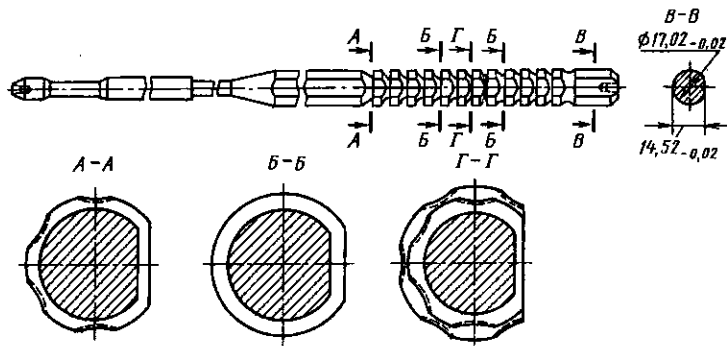
Нестандартизованные типы внутренних и наружных протяжек для обработки отверстий различного профиля, шпоночных пазов и наружных поверхностей даны в табл. 17.

## 17. Специальные протяжки и прошивки для обработки отверстий и наружных поверхностей



Протяжка спиральная для протягивания во втулке из стали 35 отверстия диаметром 20 и длиной 55 мм

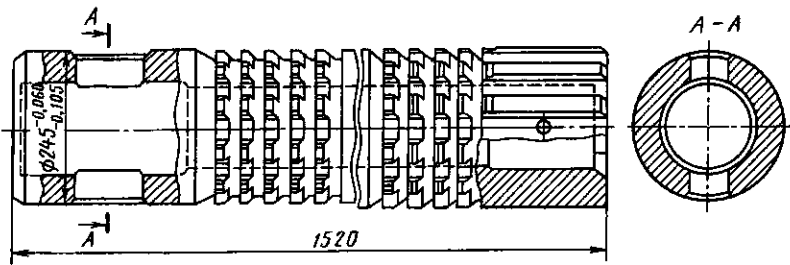




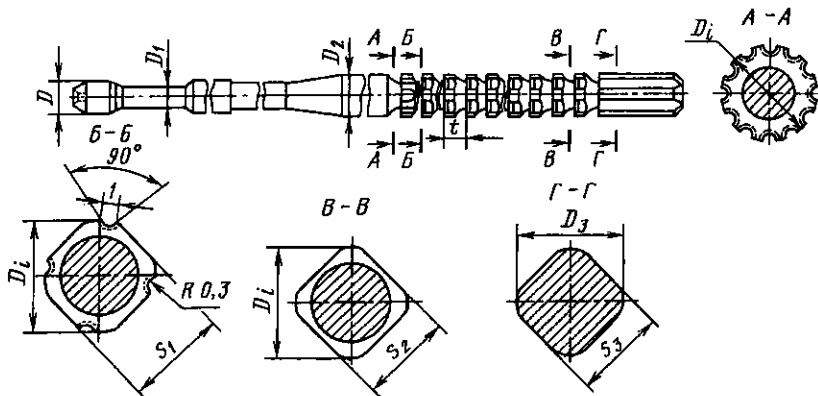
На нечетных зубьях  
режущей части

На четных зубьях  
режущей части и  
калибрующих зубьях

Протяжка сегментная для протягивания в детали из серого чугуна сегментного отверстия длиной 18 мм

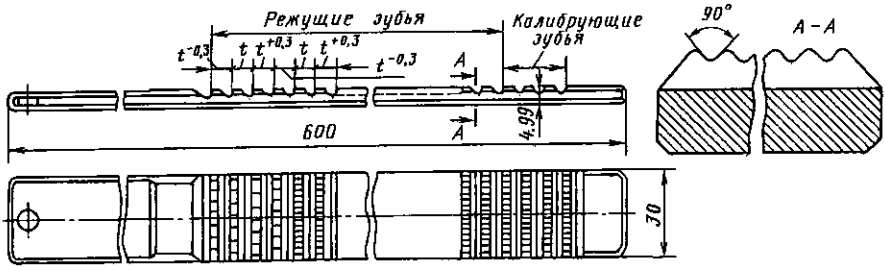


Протяжка десятишлицевая черновая четырехкомплектная первая для протягивания шлицев с прямоугольным профилем; диаметры шлицевого отверстия: наружный – 269 мм, внутренний – 245 мм

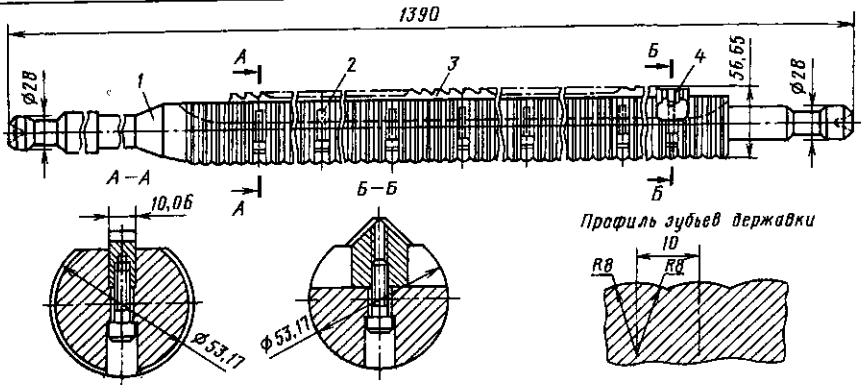


Протяжка для обработки квадратного отверстия

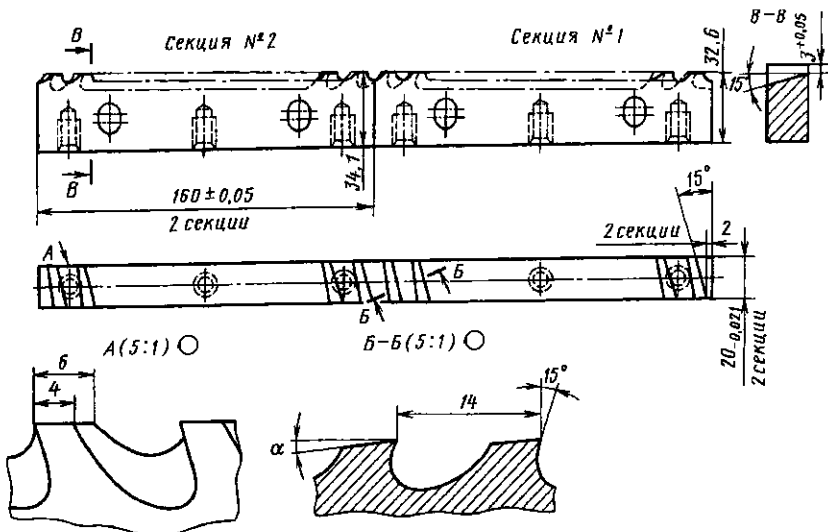
Продолжение табл. 17



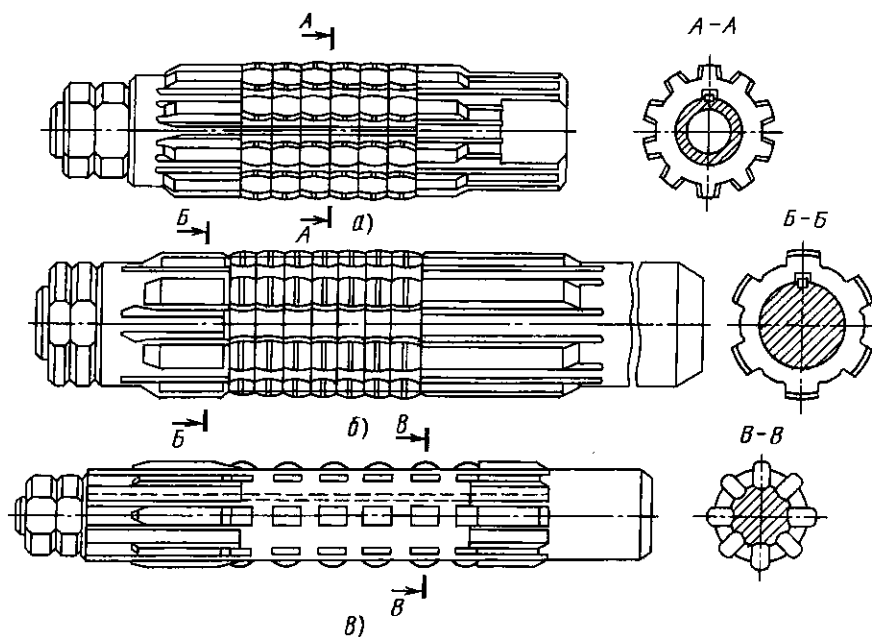
Протяжка для обработки рифлений в пазах корпусов сборных торцовых фрез



Протяжка шпоночная сборная: 1 – державка; 2 – винт; 3 – протяжка шпоночная; 4 – протяжка фасочная



Наружная протяжка с наклонной режущей частью, правые секции № 1 и № 2 протяжного блока типа, показанного на рис. 7



*Прошивки сборные: а – с кольцами из стали Р18 для калибрования боковых сторон цементованных шлицев; б – с кольцами из твердого сплава для калибрования шлицев с центрированием по  $D$  и  $b$ ; в – с использованием стандартизованных роликов для калибрования шлицев с центрированием по  $D$*

## НАЛАДКА ПРОТЯЖНЫХ СТАНКОВ

При проектировании приспособлений и инструмента для протяжных станков сопоставляют схему наладки станка, включающую определение длины рабочего хода, длины хода сопровождения протяжки (для внутреннего протягивания), длины переднего и заднего хвостовиков протяжки, а также возможность и удобство подачи заготовки. Исходные данные предварительных расчетов: сила резания при протягивании заготовки; длина рабочей части протяжки, состоящей из режущих, калибрующих и деформирующих зубьев; диаметр шейки переднего хвостовика протяжки из условия прочности на разрыв. Номинальное тяговое усилие станка должно быть на 15...25 % больше расчетной силы резания для протягивания заготовки.

На рис. 9 приведена схема наладки горизонтально-протяжного станка для внутреннего протягивания. Эта наладка может быть ис-

пользована, например, на станках мод. 7Б55, 7Б56, 7Б57 и 7Б58.

Возможность подачи и установки заготовок на рабочую поверхность при автоматическом подводе и отводе протяжки обеспечивает выполнение следующего условия:

$$a - b + h + h_1 + h_2 + 10 \text{ мм} \leq H_1,$$

где  $a$  – расстояние от переднего торца рабочей каретки  $l$  до передней плоскости опорной плиты станка;  $b$  – расстояние от переднего торца рабочей каретки до торца переднего хвостовика протяжки, установленной в рабочий патрон;  $h$  и  $h_1$  – соответственно толщина планшайбы и опорного буртика втулки  $4$ ;  $h_2$  – толщина (высота) обрабатываемой заготовки;  $a$ ,  $b$ ,  $h$ ,  $h_1$  и  $h_2$  выбираются из паспорта станка, по размерам или из конструктивных соображений.

Длины переднего и заднего хвостовиков протяжки определяют в соответствии с размерами рабочего и вспомогательного патронов.

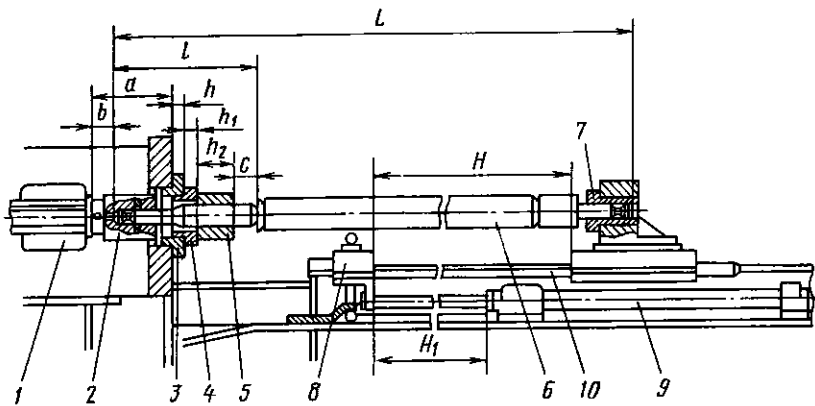


Рис. 9. Схема наладки горизонтально-протяжного станка:

- 1 – рабочая каретка; 2 – автоматический рабочий патрон; 3 – планшайба станка; 4 – опорная втулка; 5 – обрабатываемая заготовка; 6 – протяжка; 7 – автоматический вспомогательный патрон; 8 – поддерживающая каретка; 9 – гидроцилиндр привода механизма отвода и подвода протяжки с ходом  $H_1$ ; 10 – скалка для настройки хода сопровождения  $H$  вспомогательной каретки в соответствии с длиной протяжки

Расстояние  $c$  от внешнего торца заготовки до первого режущего зуба протяжки составляет 20...50 мм. Если длина хода  $H_1$  штока гидроцилиндра привода механизма отвода и подвода протяжки будет меньше рассчитанной по указанному выражению, то следует пересмотреть конструкцию планшайбы и опорной втулки, а в некоторых случаях и конструкцию рабочего патрона с целью увеличения размера  $b$ .

По схеме наладки определяют полную длину  $L$  протяжки, причем длина рабочего хода протяжки (мм) должна быть не менее

$$L + b - a - h - h_1 + 10 \text{ мм.}$$

Если расчетная длина хода больше указанной в паспорте, то следует, предварительно проверив наибольшую фактическую длину рабочего хода, перейти к наладке другой модели станка.

Схему наладки (рис. 10) вертикально-протяжного станка для внутреннего протягивания, например, станков мод. 7Б74, 7Б75, 7Б76, 7Б76-1, 7Б77, составляют аналогично схеме наладки для горизонтально-протяжного. Наладку серийно выпускаемого вертикально-протяжного станка для наружного протягивания осуществляют по схеме, приведенной на рис. 11.

Длина рабочего хода протягивания "открытого контура" должна быть не менее  $L + f + h + 10$  мм. Длина рабочего хода при протягивании "закрытого контура" должна быть не менее  $L + f + h + l + 10$  мм.

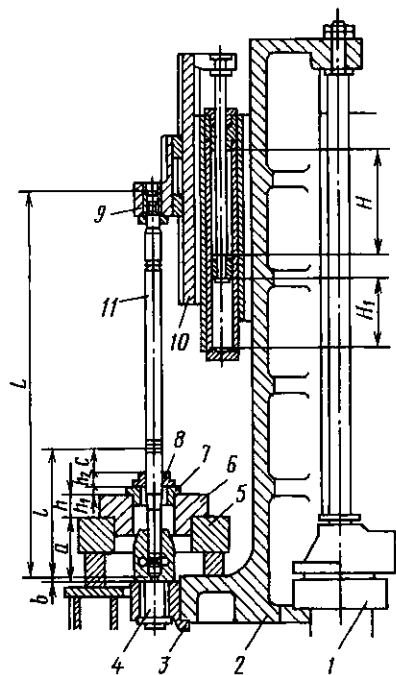


Рис. 10. Схема наладки вертикально-протяжного станка для внутреннего протягивания:

- 1 – рабочий гидроцилиндр; 2 – рабочая каретка; 3 – кронштейн автоматического патрона; 4 – автоматический рабочий патрон; 5 – стол; 6 – планшайба; 7 – опорная втулка; 8 – обрабатываемая заготовка; 9 – автоматический вспомогательный патрон; 10 – вспомогательная каретка; 11 – протяжка

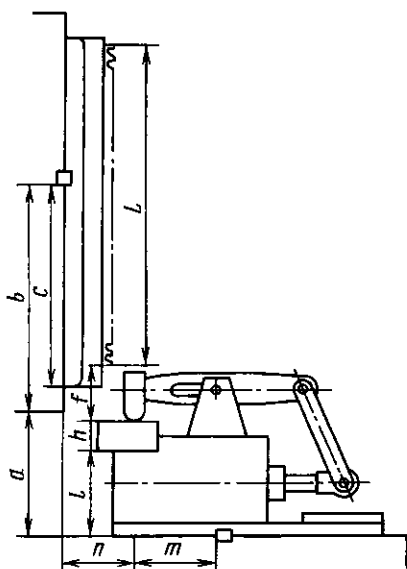


Рис. 11. Схема наладки вертикально-протяжного станка для наружного протягивания

Под "закрытым контуром" условно подразумевают такое расположение одновременно протягиваемых поверхностей, при котором исключается возможность вывода заготовки из рабочей зоны до полного окончания рабочего хода станка. Размеры  $a$ ,  $b$ ,  $m$  и  $n$  берутся по паспорту станка;  $f$  — расстояние от верхней плоскости протягиваемой заготовки до первого режу-

щего зуба протяжки (обычно  $f = 30 \dots 80$  мм);  $h$  — толщина (высота) заготовки. Размер  $c$  от нижнего торца инструментальной плиты до поперечного шпоночного паза определяется в зависимости от размеров  $l$ ,  $h$  и  $f$ .

Необходимо перед наладкой станка проверить возможность снятия нижних секций протяжек без снятия приспособления для устания и закрепления заготовки, а также очистки от стружки заготовки первых зубьев протяжки.

## РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ

Параметры режима резания при протягивании (скорость, подача) должны быть согласованы с их конструкцией по следующим причинам:

- подача на зуб протяжки  $S_2$  задается конструкцией и не может изменяться при эксплуатации;
- стойкость черновых и чистовых зубьев различна и зависит как от конструкции (соотношение  $S_{2 \text{ черн}}$  и  $S_{2 \text{ чист}}$ ), так и от режима обработки ( $v$ );
- средняя наработка между отказами ( $T_{\text{ср}}$ , мин), подача на зуб и скорость резания при протягивании связаны зависимостью:

$$T_{\text{ср}} = \frac{C_T}{v^x S^y}$$

Значения коэффициента  $C_T$  и показателей степеней  $x$ ,  $y$  представлены в табл. 18.

18. Значение  $C_T$  и показатели степеней в формуле  $T_{\text{ср}} = \frac{C_T}{v^x S^y}$

Обрабатываемый материал	Группа обрабатываемости	Вид зубьев. Величины подъема $S_1$ и $S_2$	Условия охлаждения	$C_T$	$x$	$y$	
Сталь	I	Чистовые $S_2$ до 0,025	С охлаждением	62	0,54	0,31	
		Черновые: $S_1 = 0,026 \dots 0,15$ $S_1 = 0,16 \dots 0,4$		235	0,67	0,27	
				110	0,67	0,67	
		II		Чистовые $S_2$ до 0,025	51	0,54	0,31
				Черновые: $S_1 = 0,026 \dots 0,15$ $S_1 = 0,16 \dots 0,4$	158	0,67	0,27
					75	0,67	0,67
	III	Чистовые $S_2$ до 0,025		42	0,54	0,31	
		Черновые: $S_1 = 0,026 \dots 0,15$ $S_1 = 0,16 \dots 0,4$		115	0,67	0,27	
				53	0,67	0,67	

*Протягивание протяжками, перетачиваемыми по передней поверхности*

Окончание табл. 18

Обрабатываемый материал	Группа обрабатываемости	Вид зубьев. Величины подъема $S_1$ и $S_2$	Условия охлаждения	$C_r$	$x$	$y$
Сталь	IV	Чистовые $S_2$ до 0,025	С охлаждением	25	0,67	0,4
		Черновые $S_1 = 0,026 \dots 0,15$		58	0,79	0,36
	V	Чистовые $S_2$ до 0,025		12,3	0,67	0,4
		Черновые $S_2 = 0,026 \dots 0,15$		21,7	0,79	0,36
Чугун	VI	Чистовые $S_2$ до 0,025	Без охлаждения	136	0,49	0,13
		Черновые: $S_1 = 0,026 \dots 0,15$ $S_1 = 0,16 \dots 0,4$		231	0,61	0,23
				147	0,61	0,47
	VII	Чистовые $S_2$ до 0,025		84	0,49	0,13
Черновые: $S_1 = 0,026 \dots 0,15$ $S_1 = 0,16 \dots 0,4$		133	0,61	0,23		
Бронза	VIII	Чистовые $S_2$ до 0,025	Без охлаждения	431	0,49	0,13
		Черновые: $S_1 \leq 0,15$ $S_1 = 0,16 \dots 0,4$		704	0,61	0,23
				443	0,61	0,47
	IX	Чистовые $S_2$ до 0,025		220	0,49	0,13
		Черновые: $S_1 \leq 0,15$ $S_1 = 0,16 \dots 0,4$		339	0,61	0,23
				214	0,61	0,47
Алюминиевые сплавы	X	Чистовые $S_2$ до 0,025	128	0,33	0,21	
		Черновые	331	0,52	0,18	

Протягивание протяжками, перетачиваемыми по задней поверхности

Сталь	I	Чистовые	С охлаждением	36	0,4	0,92
		Черновые		282		
	II	Чистовые		30		
		Черновые		194		
	III	Чистовые		28		
		Черновые		147		
	IV	Чистовые		17		
		Черновые		86		
	V	Чистовые		9		
		Черновые		32		
Чугун	VI	Чистовые	Без охлаждения	39	—	—
		Черновые		240		
	VII	Чистовые		26		
		Черновые		154		

В табл. 19 и 20 представлены группы обрабатываемости (ГО) материалов в зависимости от их марки и твердости, а также группы качества (ГК) протянутых поверхностей, необходимые для выбора параметров режима резания при протягивании. В табл. 21 и 22 представлены значения предельных скоростей главного движения

резания при протягивании и поправочные коэффициенты к средней наработке между отказами. При этом нормативная средняя наработка между отказами  $T_{cp.н}$  с учетом изменения условий резания определяется по формуле:

$$T_{cp.н} = T_{cp} K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6.$$

## 19. Группа обрабатываемости материалов в зависимости от марки и твердости

Группа	Сталь	Марка	Группа обрабатываемости (ГО)				
			1	2	3	4	5
Углеродистые		10*, 15*, 20*, 25*, 30, 35, 40, 45, 50	До 229	255...285	285...321	321...364	—
			» 225				
Углеродистые с повышенным содержанием марганца		15Г*, 20Г*, 30Г*, 40Г*, 45Г*, 50Г*, 35Г2, 45Г2, 50Г2	До 241	241...269	269...302	—	—
			» 229				
Кремнемарганцевые		27СГ, 35СГ, 36Г2С	—	До 229	229...255	255...285	285...321
Хромистые		15Х*, 15ХР*, 20Х*, 30Х*, 35Х*, 35ХРА*, 38ХА*, 40Х*, 40ХР*, 45Х*, 50Х*	До 255	255...302	269...302	302...340	—
			» 229				
			» 229				
Хромокремнистые		33ХС, 38ХС, 40ХС	—	До 229	229...269	269...302	302...340
Хромомарганцевые		20ХГ*, 20ХГР*, 40ХГР	До 229	229...269	269...321	321...340	340...364
Хромоникелевые		12ХН2*, 12ХН3А*, 12ХН4А*, 13Н2ХА, 20ХН, 20ХНР, 20ХН3А, 20Х2Н4А*, 30ХН3А, 40ХН, 45ХН, 50ХН	До 241	241...269	269...302	302...321	—
			До 229				
			До 229				
Хромованадиевые		15ХФ, 20ХФ	До 229	229...269	269...302	302...321	321...364
Хромомолбденные		40ХФА, 50ХФА	—	229...269	269...302	302...340	—
			До 229				
Хромоникелемарганцевые		15ХМ, 30ХМА, 35ХМ	До 229	229...269	269...302	302...321	—
			—				
			До 229				
Хромокремнемарганцевые		18ХГН, 20ХГНР*, 30Х2ГН2, 38ХГН	До 241	241...269	269...302	302...321	—
			» 229				
Хромоникелеванадиевые		20ХГСА, 25ХГСА, 30ХГС, 35ХГС, 20ХН4ФА	—	До 229	229...269	269...321	—
			До 229				
Хромоникелевольфрамовые		25Х2Н4ВА, 18Х2Н4ВА*, 35ХН1В, 40ХНВА, 38ХНВА	—	До 229	229...269	269...302	—
			До 229				
Хромоникелемолбденные		12Х2Н3МА*, 20ХНМ, 40ХНМА, 34ХН3МА	—	—	До 255	255...269	—
			До 229				
Хромоалюминиевые с вольфрамом или молибденом		38ХМЮА, 38ХВЮЮ, 38ХЮ	—	—	До 269	269...302	—
			До 229				
Хромомарганцевые с титаном		18ХГТ, 30ХГТ, 35ХГТ, 40ХГТ	До 255	255...302	302...321	—	—
			» 229				
Хромоникелемарганцевые с титаном		15ХГНТА, 15Х2ГН2ТА*, 25Х2ГНТА	До 229	229...269	269...302	302...321	—
			» 229				

Окончание табл. 19

Группа	Сталь	Марка	Группа обрабатываемости (ГО)				
			1	2	3	4	5
Шарикоподшипниковые Быстрорежущие	ШХ15 Р18, Р6М5		НВ				
			-	-	-	До 229	-
Группа	Чугун	Марка	Группа обрабатываемости (ГО)				
			6	7			
Серые Ковкне:	СЧ 15, СЧ 18, СЧ 20, СЧ 25, СЧ 30, СЧ 35, СЧ 40, СЧ 45		НВ				
			До 197	197...269			
ферритные со структурой зернистого перлита	КЧ 50-4, КЧ 56-4 КЧ 30-6, КЧ 33-8, КЧ 35-10, КЧ 37-12 КЧ 45-6		179...269				
			-	-			
			До 163	» 217			
Антифрикционные: серые ковкне	АЧС-1, АЧС-2, АЧС-3 АЧК-1, АЧК-2		160...229 167...217				
			Группа обрабатываемости (ГО)				
Сплавы	Марка		8	9	10		
			НВ				
Безоловянные бронзы	БрА5, БрА7, БрАЖ9-4, БрАЖ9-4Л, БрАЖН10-4-4Л, БрАЖМиц10-3-1,5, БрКМи3-1, БрКН1-3		65...140				
			-				
Оловянные бронзы	БрОЦС-5-5-5, БрОЦС3-12-5, БрОЦСНЗ-7-5-1, БрОЦС 6-6-3, БрОЦС4-4-17, БрОЦС3,5-6-5, БрОЦС4-4-2,5 БрОФ6,5-0,15; БрОФ4-0,25; БрОФ6,5-1,5		До 70				
			-				
Латунн	ЛК80-3, ЛА77-2, ЛАЖ60-1-1, ЛКС80-3-3, ЛМнС59-2-2, ЛМнОС58-2-2-2, ЛС59-Л1, Л162, Л158, Л170, ЛМн58-2, ЛМнА57-3-1, ЛЮ62-1, ЛС59-1		До 130				
			До 160				
Алюминиевые сплавы	АЛ1, АЛ2, АЛ3, АЛ4, АЛ5, АЛ6, АЛ7, АЛ8, АЛ9, АЛ10В, АЛ11, АЛ12, АЛ13, АЛ14В, АЛ15В, АЛ16В, АЛ17В, АЛ18В, Д1, Д6, Д16, В95, АВ, АК2, АК4, АК6, АК8, АД, АД1, АМг2, АМг3		-				
			50...100				

\* Стали с содержанием углерода до 0,25 % в любом состоянии и стали с содержанием углерода больше 0,25 % в отожженном состоянии, обладающие повышенной вязкостью, имеют пониженную обрабатываемость по шероховатости.



## 20. Группы качества протянутых поверхностей

Группа качества	Вид протягиваемой поверхности							
	Цилиндрические отверстия, наружные поверхности и пазы простых профилей		Шлицевые и сложнофасонные отверстия, пазы и наружные поверхности сложных профилей					
	по параметру		Технические требования					
	шероховатости поверхности, мкм	по качеству	по центрирующему диаметру шлицевых и круглых отверстий	по боковым поверхностям шлицев	по центрирующему диаметру шлицевых и круглых отверстий	по ширине шлицев		
						прямобоковых	эвольвентных	треугольных
Параметры шероховатости, мкм				Квалитеты				
1	$Ra \leq 1,25$	Все, начиная с 5-го	$Ra \geq 1,25$	$Ra \geq 2,5$	Не лимитирует			
2	$Ra \leq 2,5$	7; 8	$Ra \leq 2,5$	$Rz \leq 20$	7	9	9	7
3	$Rz \leq 20$	9	$Rz \leq 20$	$Rz \leq 40$	8	10	11	9
4	$Rz \leq 40$ и грубее	11 и ниже	—	—	—	—	—	—

## 21. Предельная скорость главного движения резания

Вид протяжек	ГК	Скорость главного движения резания, м/мин, для							
		1ГО	2ГО	3ГО	4ГО	5ГО	6, 8, 9ГО	7ГО	10ГО
Круглые, шпоночные наружные, пазовые простого профиля	1	7,5	7	6	4	2	7,5	6	4,5
	2	11	10	8,5	5,5	3	11	8,5	6
	3	13	12	10	7	3,5	13	10	8
	4	15	14	12	8	4	15	12	9
	Аппроксимирующая зависимость	$7,5 \sqrt{ГК}$	$7 \sqrt{ГК}$	$6 \sqrt{ГК}$	$4 \sqrt{ГК}$	$2 \sqrt{ГК}$	$7,5 \sqrt{ГК}$	$6 \sqrt{ГК}$	$4,5 \sqrt{ГК}$
Шлицевые, сложнофасонные, пазовые сложного профиля	1	6,5	6	5	4	2	6,5	5	4,5
	2	9	8,5	7	5,5	3	9	7	6
	3	11	10	8,5	7	3	11	8,5	8
	Аппроксимирующая зависимость	$6,5 \sqrt{ГК}$	$6 \sqrt{ГК}$	$5 \sqrt{ГК}$	$4 \sqrt{ГК}$	$2 \sqrt{ГК}$	$6,5 \sqrt{ГК}$	$5 \sqrt{ГК}$	$4,5 \sqrt{ГК}$

## 22. Поправочные коэффициенты к средней выработке между отказами

Поправочные коэффициенты в зависимости от условий работы

1. Значения  $K_1$  в зависимости от вида и группы качества протягиваемых поверхностей

Вид протягиваемой поверхности	Переточка поверхности	Группа качества протянутой поверхности			
		1	2	3	4
		Коэффициент $K_1$			
Отверстия цилиндрические шлицевые с эвольвентной формой паза, многогранные пазы и наружные поверхности сложного профиля	Передней	0,7	1,0	1,5	2,0
		0,6	0,8	1,2	—
		0,4	0,64	1,0	—
Пазы простого профиля Наружные поверхности простого профиля*	Задней	0,5	0,6 1,0	1,0 1,6	1,4 2,3

\* Для черновых секций сборных протяжек, выполняющих предварительную обработку,  $K_1 = 3,0$ .

2. Значения  $K_2$  в зависимости от схемы резания

Схема	Переменного резания	С узкими канавками
Коэффициент $K_2$	1,0	0,5

3. Значения  $K_3$  в зависимости от вида заготовки и подготовки поверхности под протягивание

Вид заготовки							
Прокат, штамповка и поковка		Отливка					
		стальная		чугунная		из цветных металлов	
Подготовка поверхности под протягивание							
Обработанная	По-черному		Обработанная	По-черному	Обработанная	По-черному	Обработанная
	травленая	нетравленая					
Коэффициент $K_3$							
1,0	1,0	0,8	0,9	0,7	1,0	0,7	1,0

4. Значения  $K_4$  в зависимости от материала протяжки

Марка материала протяжки	P18	P6M5	P9K10	XBG
Коэффициент $K_4$	1,1	1,0	1,3	0,5

5. Значения  $K_5$  в зависимости от доводки зубьев протяжки

Протяжка с зубьями	Доведенными	Недоведенными
Коэффициент $K_5$	1,0	0,75

Окончание табл. 22

6. Значения  $K_6$  в зависимости от вида смазочно-охлаждающей жидкости

Обрабатываемый материал	Коэффициент $K_6$			
	Условные обозначения СОЖ			
	А	Б	В	Г
Стали:				
конструкционные углеродистые	0,8	1,0	—	—
конструкционные легированные	0,8	1,0	0,9	—
Чугуны	—	1,0	0,9	0,8
Бронзы, латуни	1,0	—	—	0,8
Алюминиевые сплавы	1,0	—	—	0,8
Обрабатываемый материал	Рекомендуемые СОЖ			
Стали конструкционные:				
углеродистые	А, Б, В			
легированные	А, В			
Чугуны:				
серые, ковкие	Б, В			
антифрикционные				
Бронзы, латуни	А, Б			
Алюминиевые сплавы	А			
Условное обозначение СОЖ	СОЖ			
А	5...10 %-ная эмульсия из эмульсола Э-2 (ЭТ-2, ЭГТ)			
Б	Масло ОСМ-3			
В	Масло И-12 или И-20			
Г	Без СОЖ			

*Толщина срезаемого слоя.* Наименьшая толщина срезаемого слоя (величина подачи на зуб протяжки  $S_2$ ) устанавливается в зависимости от радиуса округления режущей кромки зуба протяжки. Для того, чтобы процесс резания протекал в нормальных условиях, толщина срезаемого слоя должна быть больше радиуса округления режущей кромки зуба протяжки. Вследствие этого наименьшую толщину срезаемого слоя рекомендуется принимать равной  $a_{\min} = 0,02$  мм.

Максимальная толщина срезаемого слоя устанавливается в зависимости от свойств обрабатываемого материала с учетом обеспечения необходимого качества протянутой поверхности, условий свободного размещения стружки во впадине зуба, стойкости зубьев протяжки, ее прочности, тягового усилия станка, конструктивных особенностей протяжки и др.

Ориентировочные значения толщины срезаемого слоя приведены в табл. 23. Подробный расчет  $S_2$  представлен в [5, 8].

23. Толщина слоя металла, срезаемого зубом протяжки (подъем на зуб, на сторону)

Обрабатываемый материал	Толщина слоя металла, срезаемого зубом протяжки, мм	
	Наименьшая	Наибольшая
Сталь $\sigma_b$ до 400 МПа	0,02	0,07
Сталь $\sigma_b$ св. 400 до 600 МПа		0,10
Сталь $\sigma_b$ св. 600 МПа		0,15
Чугун до 140 НВ		0,10
Чугун св. 140 до 180 НВ		0,15
Чугун св. 180 НВ		0,20
Бронза, латунь		0,20
Алюминий	0,10	



$d_n$	Под круглые протяжки						Под шлицевые протяжки										
	ПТ			Н7-Н9			Н7-Н9			Н12							
	$d_{пт}$	$d_0$	$d$		$A$	$d_0$	Сверло	Зенкер или расточка	$A$	$d_0$	Сверло	Зенкер или расточка	$d$	$d_0$	Сверло	Зенкер или расточка	$A$
			Зенкер или расточка	Зенкер или расточка													
40	39,66	38,5	—	38,6	1,16	38,8	38,9	38,9	1,2	—	—	—	—	—	—	—	—
42	41,66	40,4	40,5	40,5	1,26	40,7	—	40,8	1,3	41,1	41,2	41,2	41,2	41,4	41,5	41,5	0,9
45	44,66	43,4	43,5	43,5	1,26	43,7	—	43,8	1,3	45,1	—	—	—	—	—	—	—
46	45,66	44,4	44,5	44,5	1,26	44,7	—	44,8	1,3	—	—	—	—	—	—	—	—
48	47,66	46,4	46,5	46,5	1,26	46,7	—	46,8	1,3	—	—	—	—	—	—	—	—
50	49,65	48,4	48,5	48,5	1,26	48,7	—	48,8	1,3	—	—	—	—	—	—	—	—
52	51,6	50,2	—	50,3	1,4	50,6	—	50,7	1,4	51	—	—	—	51,5	51,6	51,6	0,85
55	54,6	53,2	—	53,3	1,4	53,6	—	53,7	1,4	—	—	—	—	—	—	—	—
56	55,6	54,2	—	54,3	1,4	54,6	—	54,7	1,4	55	—	—	—	55,4	55,5	55,5	0,95
58	57,6	56,2	—	56,3	1,4	56,6	—	56,7	1,4	—	—	—	—	—	—	—	—
60	59,6	58,2	—	58,3	1,4	58,6	—	58,7	1,4	—	—	—	—	—	—	—	—
62	61,6	60,2	—	60,3	1,4	60,6	—	60,7	1,4	61	—	—	—	61,4	61,5	61,5	0,95
63	62,6	61,2	—	61,3	1,4	61,6	—	61,7	1,4	—	—	—	—	—	—	—	—
65	64,6	63,2	—	63,3	1,4	63,6	—	63,7	1,4	—	—	—	—	—	—	—	—
70	69,6	68,2	—	68,3	1,4	68,6	—	68,6	1,4	—	—	—	—	—	—	—	—
72	71,6	70,1	—	70,2	1,5	70,5	—	70,6	1,4	71	—	—	—	71,4	71,5	71,5	0,95
75	74,6	73,1	—	73,2	1,5	73,5	—	73,6	1,4	—	—	—	—	—	—	—	—
80	79,6	78,1	—	78,2	1,5	78,5	—	78,6	1,4	—	—	—	—	—	—	—	—
82	81,54	80,0	—	80,1	1,54	80,5	—	80,6	1,5	81	—	—	—	81,4	81,5	81,5	1
85	84,54	83,0	—	83,1	1,54	83,5	—	83,6	1,5	—	—	—	—	—	—	—	—
90	89,54	88,0	—	88,1	1,54	88,5	—	88,6	1,5	—	—	—	—	—	—	—	—

Условные обозначения: ПТ — припуск технологический под шлифование;  $d_{пт}$  — диаметр отверстия после протягивания с ПТ под шлифование;  $A$  — полный припуск на протягивание;  $d_0$  — наименьший диаметр отверстия до протягивания;  $d_n$  — номинальный диаметр отверстия;  $d$  — номинальный диаметр инструмента.

В табл. 24 представлены припуски на протягивание круглыми и шлицевыми протяжками.

*Сила резания при протягивании.* Оценка силы резания при протягивании необходима для расчета конструктивных элементов протяжки на прочность и выбора технологического оборудования.

Сила резания при протягивании  $P$ , Н, определяется по следующей зависимости:

$$P = p' \sum b,$$

где  $p'$  — сила резания на 1 мм длины режущей кромки в Н/мм (табл. 26);  $\sum b$  — наибольшая

суммарная длина режущих кромок всех одновременно работающих зубьев (табл. 25), где  $d$  — наибольший диаметр зубьев, мм;  $z_c$  — число зубьев в секции (для протяжек с одинарной схемой срезания припуска  $z_c = 1$ );  $z_i$  — наибольшее число одновременно работающих зубьев;  $b_n$  — ширина шпоночного паза, мм;  $n$  — число шлицев или шпонок;  $\delta$  — угол контакта обрабатываемой поверхности с режущими кромками зубьев протяжки;  $B$  — ширина протягиваемой поверхности, мм;  $\tau$  — угол наклона зубьев протяжки (измеренный между направлением скорости главного движения и режущей кромкой).

### 25. Суммарная длина режущих кромок одновременно работающих зубьев

Обработка	Формула
цилиндрических отверстий	$\sum b = \frac{\pi d}{z_c} z_i$
шлицевых отверстий и шпоночных пазов	$\sum b = \frac{b_n n}{z_c} z_i$
цилиндрических поверхностей	$\sum b = \frac{\pi d \delta}{z_c 360} z_i$
пазов, плоскостей и уступов с постоянной шириной обрабатываемого контура	$\sum b = \frac{B}{\sin \tau} z_i$

### 26. Удельная сила резания при протягивании

Подача на зуб $S_z$ , мм	Обрабатываемый материал								
	Углеродистая сталь			Легированная сталь			Чугун		
							серый	ковкий	
	HB ≤ 197	HB = 198...229	HB ≥ 229	HB ≤ 197	HB = 198...229	HB ≥ 229	HB ≤ 180	HB > 180	—
0,01	65	71	85	76	85	91	55	75	63
0,02	95	105	125	126	136	158	81	89	73
0,03	123	136	161	157	169	186	104	116	94
0,04	143	158	187	184	198	218	121	134	109
0,05	163	181	216	207	222	245	140	155	125
0,06	177	195	232	238	255	282	151	166	134
0,07	196	217	258	260	282	312	167	184	143

Подача на зуб $S_z$ , мм	Обрабатываемый материал								
	Углеродистая сталь			Легированная сталь			Чугун		
							серый		ковкий
	HB ≤ 197	HB = 198...229	HB ≥ 229	HB ≤ 197	HB = 198...229	HB ≥ 229	HB ≤ 180	HB > 180	—
0,08	213	235	280	280	302	335	180	200	164
0,09	231	255	304	304	328	362	195	216	179
0,10	247	273	325	328	354	390	207	236	192
0,11	266	294	350	354	381	420	226	254	206
0,12	285	315	375	378	407	450	243	268	220
0,13	304	336	398	403	434	480	258	285	234
0,14	324	357	425	423	457	505	273	303	250
0,15	342	379	450	445	480	530	290	321	261
0,16	360	398	472	471	510	560	305	336	276
0,17	378	416	496	495	536	592	320	353	291
0,18	395	436	520	525	565	625	334	370	302
0,19	411	455	540	555	600	662	346	388	319
0,20	427	473	562	576	620	685	360	402	326
0,21	442	488	580	590	643	710	375	415	338
0,22	456	503	600	620	667	736	385	427	349
0,23	468	517	616	640	687	762	395	438	358
0,24	480	531	632	662	709	786	410	451	368
0,25	495	545	660	680	730	810	421	465	376
0,26	510	561	666	700	753	834	429	477	390
0,27	525	574	682	722	779	855	444	487	402
0,28	540	588	700	744	798	883	455	500	413
0,29	549	600	720	760	830	920	462	510	419
0,30	564	615	730	785	845	933	471	522	431

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кацев П.Г. Протяжные работы: Учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1968. 247 с.: ил.

2. Общемашинностроительные нормы режимов резания: Справочник: В 2 т. Т. 2 / А.Д. Локтев, И.Ф. Гуции, Б.Н. Балашов и др. М.: Машиностроение, 1991. 304 с.: ил.

3. Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев, Г.В. Филиппов, А.Н. Шевченко и др. / Под общ. ред. И.А. Ординарцева. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. 846 с.: ил.

4. Справочник конструктора-инструментальщика / Под общ. ред. В.И. Баранчикова. М.: Машиностроение, 1994. 560 с.: ил. (Библиотека конструктора).

5. Справочник протяжника / П.Г. Кацев, Н.П. Епифанов; Под ред. Н.П. Малевского. М.: Машгиз, 1963. 256 с.: ил.

6. Справочник технолога-машиностроителя: В 2 т. Т. 1 / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. 5-е изд., исправл. М.: Машиностроение, 2003. 912 с.: ил.

7. Справочник технолога-машиностроителя: В 2 т. Т. 2 / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Сулова, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. 5-е изд., исправл. М.: Машиностроение, 2003. 944 с.: ил.

8. Щеголев А.В. Коинструирование протяжек. Л.: Машгиз, 1960. 350 с.: ил.

## ФРЕЗЕРОВАНИЕ

## ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

*Фрезерование* – лезвийная обработка с вращательным главным движением резания при постоянном радиусе его траектории, сообщаемым инструменту и хотя бы одним движением подачи, направленным перпендикулярно оси главного движения резания.

Различают следующие *виды фрезерования* – периферийное, торцовое, круговое, охватывающее, зубофрезерование, резбофрезерование, шлицефрезерование, встречное и попутное фрезерование.

Фрезерование осуществляется *фрезами*. Это – лезвийный инструмент, выполняющий при обработке вышеуказанные движения с вращательным главным движением резания инструмента без изменения радиуса траектории этого движения и хотя бы с одним движением подачи, направление которого не совпадает с осью вращения.

Фрезы применяются для обработки плоскостей, уступов, фасонных поверхностей, пазов, прорезки, отрезки, нарезания резьбы и зубьев, черновой и чистовой обработки с использованием фрезерных станков общего и специального назначения.

**Конструктивные элементы фрез.** Основные элементы фрез на примере цилиндрической и торцовой фрезы представлены на рис. 1. К ним относятся: 1 – передняя поверхность зуба, 2 – задняя поверхность зуба, 3 – режущая кромка, 4 – ленточка на режущей кромке, 5 – стружечная канавка. Углы, характеризующие режущую часть зуба фрезы:  $\alpha$  – задний угол,  $\gamma$  – передний угол,  $\gamma_N$  – главный передний угол,  $\alpha_N$  – главный задний угол,  $\gamma_T$  – торцовый передний угол,  $\alpha_T$  – торцовый задний угол на переходной кромке,  $\alpha_1$  – вспомогательный задний угол,  $\beta$  – угол заострения,  $\epsilon$  – угол профиля фрезы,  $\varphi$  – главный угол инструмента в плане,  $\varphi_0$  – главный угол инструмента в плане на переходной режущей кромке, определяемой величиной  $f_0$ ,  $\varphi_1$  – вспомогательный угол инструмента в плане,  $\omega$  – угол наклона зубьев фрезы,  $f$  – ширина ленточки лезвия.

**Основные типы и конструкции фрез.** *Цилиндрические фрезы* – режущий инструмент в форме тела вращения, режущие кромки которого расположены на цилиндрической поверхности (рис. 2).

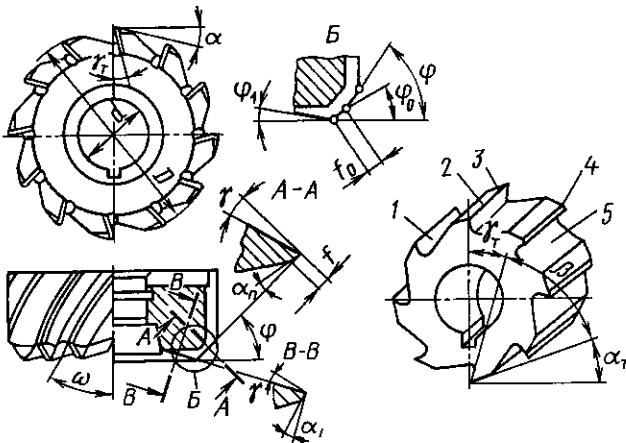


Рис. 1. Основные элементы и геометрические параметры цельных фрез



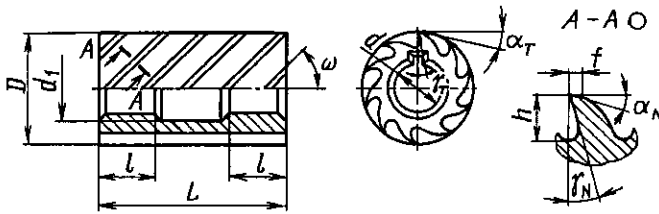


Рис. 2. Цилиндрическая фреза

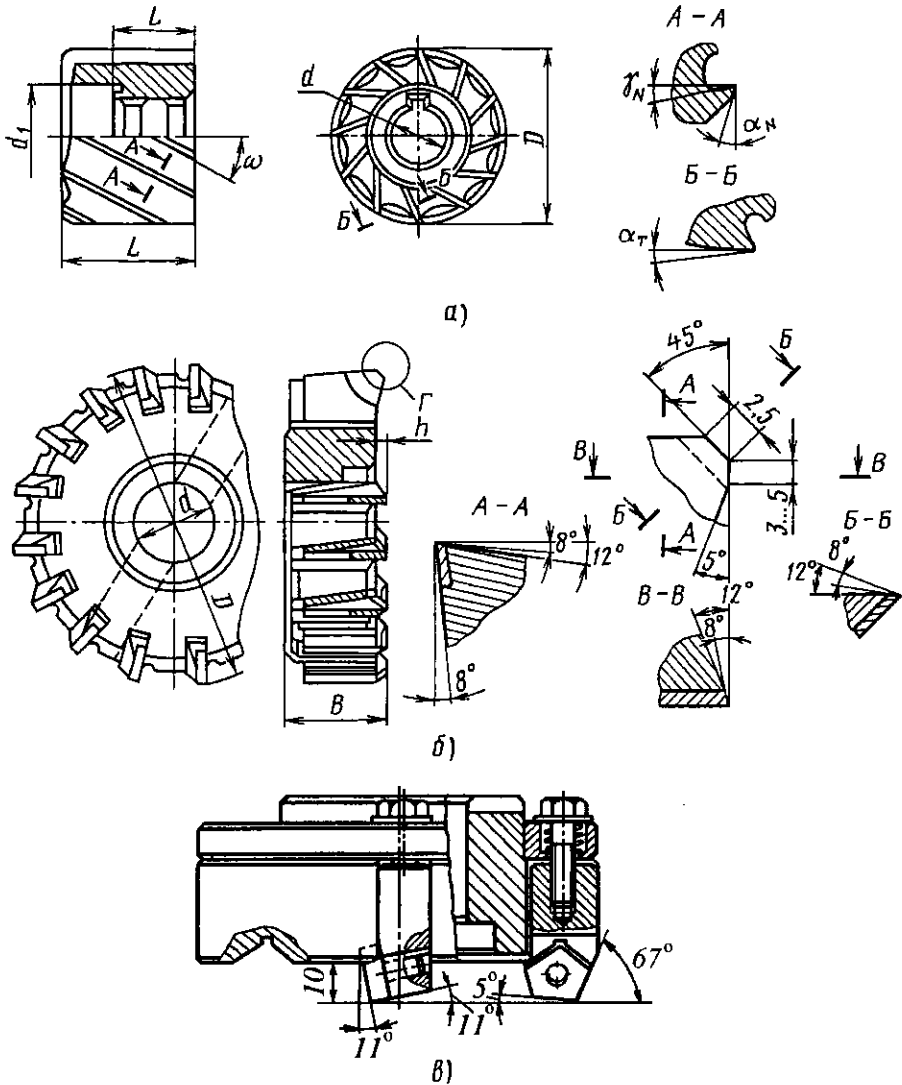


Рис. 3. Торцовые фрезы насадного типа (начало):

*a* – цельная; *б* – сборная со вставными ножами, оснащенными пластинами из твердого сплава; *в* – с механическим креплением многогранных пластин; *г, д* – соответственно нерегулируемые и регулируемые кассетной конструкции с механическим креплением неперегретаемых круглых пластин из композитов 01, 05, 10д

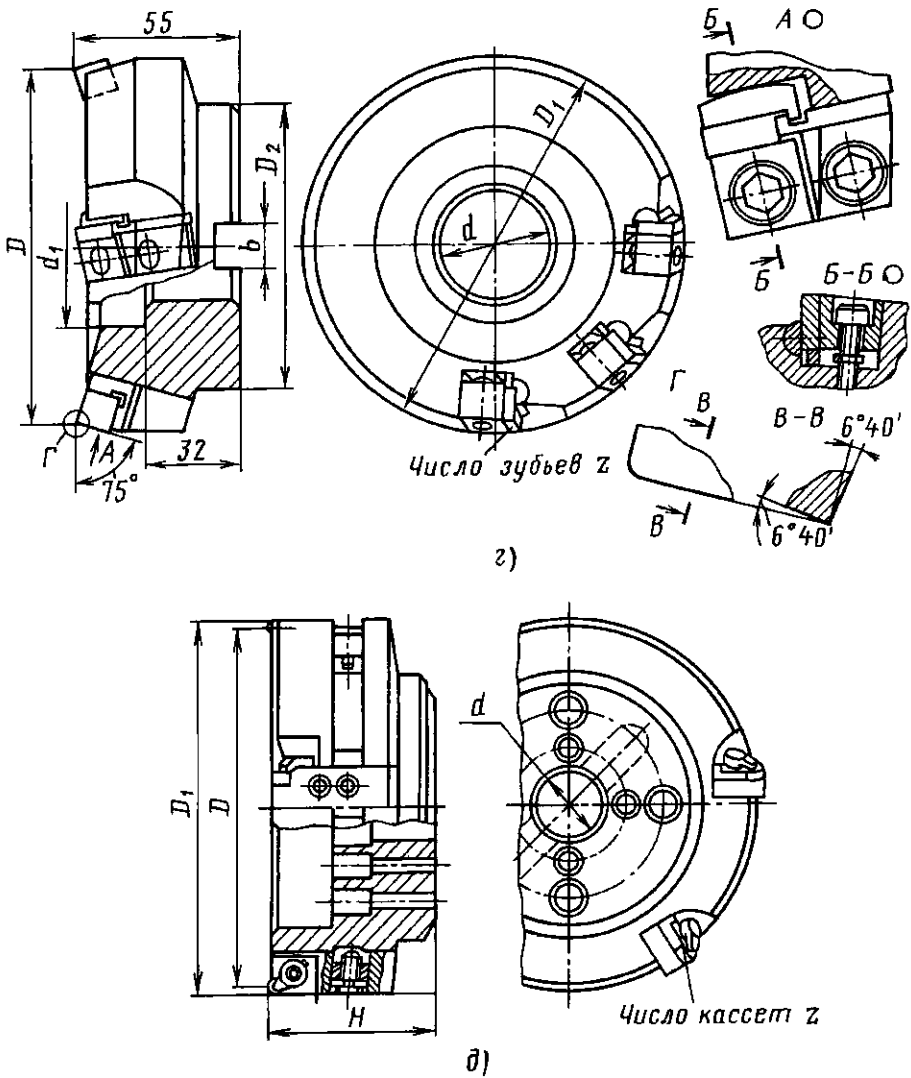


Рис. 3. Окончание

Применяется для обработки плоскостей на горизонтально-фрезерных станках и при работе наборами фрез. Различаются фрезы с правым и левым направлением стружечных канавок.

Торцовые фрезы – режущий инструмент с расположением зубьев на торцовой поверх-

ности (рис. 3). Торцовые фрезы относятся к инструменту иасадного типа, характеризующегося наличием посадочного отверстия. Предназначены для обработки плоскостей на вертикально- и горизонтально-фрезерных станках. Момент резания на торцовых фрезах иасадного типа передается при помощи поперечных шпонок.

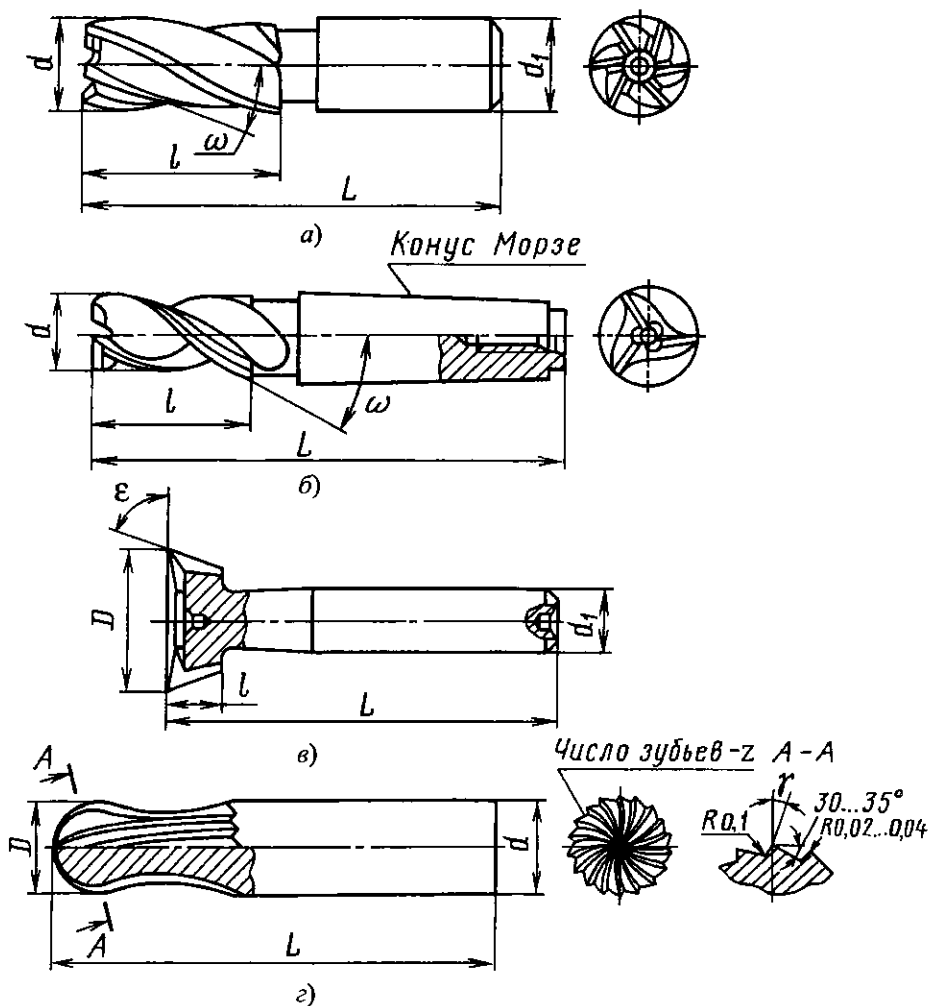


Рис 4. Концевые фрезы:

*a* – с цилиндрическим хвостовиком; *б* – с коническим хвостовиком;  
*в* – для обработки пазов; *г* – фасонная

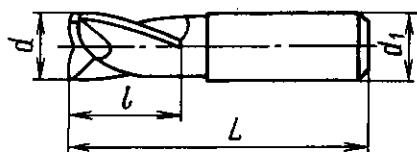


Рис 5. Шпоночные фрезы

Концевые фрезы – используются для обработки пазов, уступов, взаимно-перпендикулярных плоскостей, фасонных поверхностей (рис. 4).

Шпоночные фрезы – используются для фрезерования шпоночных канавок (рис. 5).

Дисковые фрезы – режущий инструмент в форме тела вращения, осевая длина которого меньше его диаметра. Применяется для обра-

ботки плоских поверхностей, уступов, пазов, фасонных поверхностей (рис. 6).

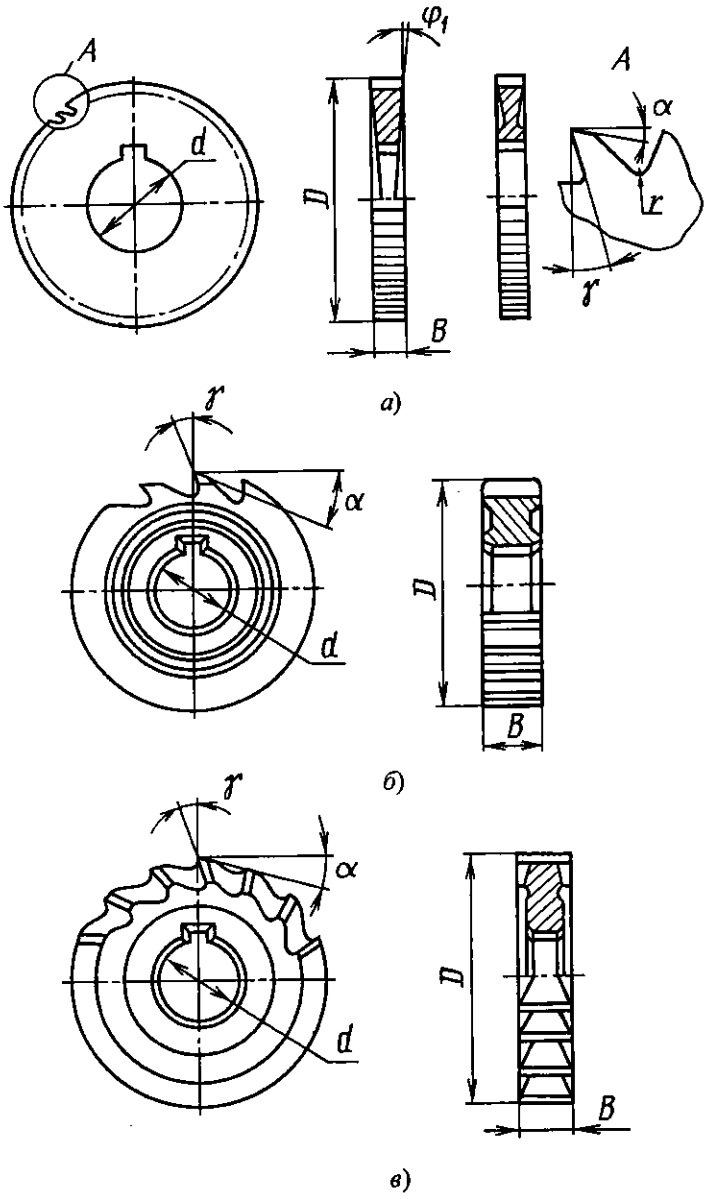


Рис. 6. Дисковые фрезы (начало):  
 а – прорезная, отрезная; б – пазовая; в – трехсторонняя;  
 г – трехсторонняя со вставными ножами; д – угловая односторонняя;  
 е – двухугловая симметричная; ж – фасонная полукруглая

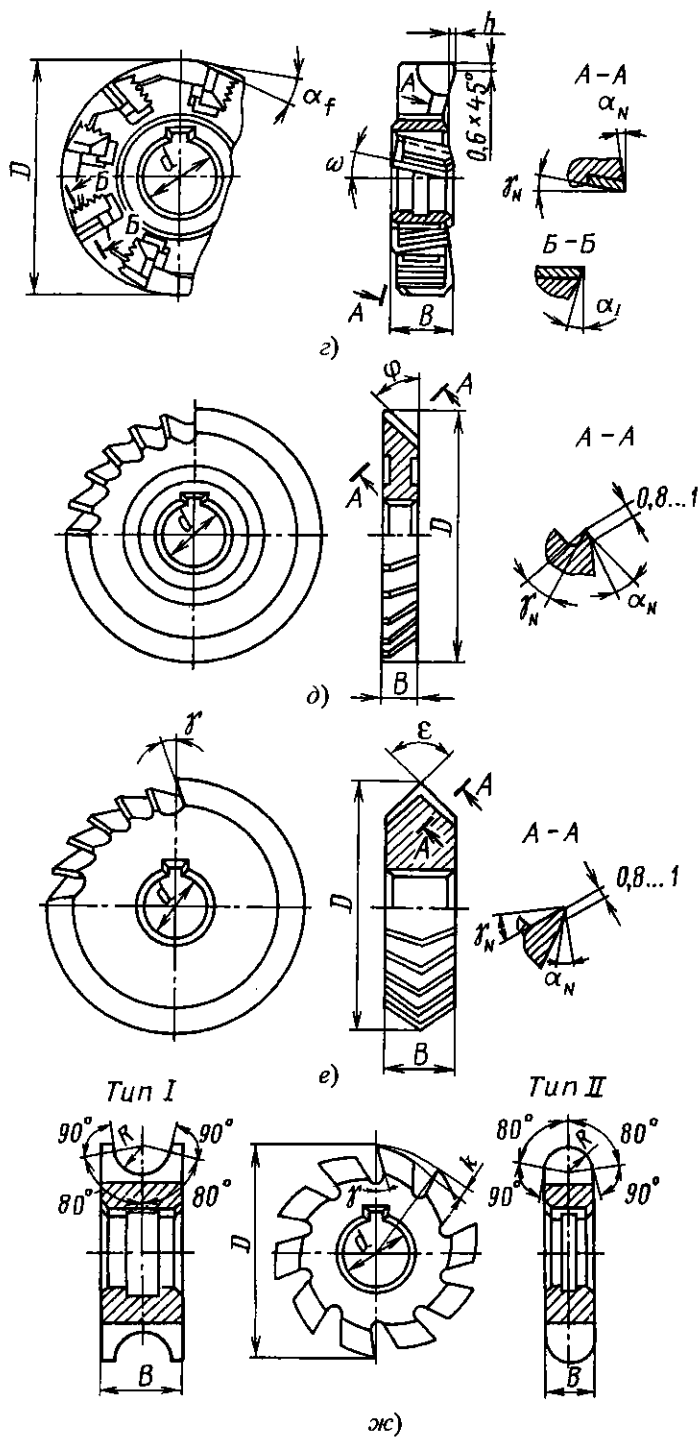


Рис. 6. Окончание

Фрезы для обработки пазов используются для обработки станочных Т-образных пазов, пазов, под сегментные шпопки, пазов, имеющих отличный от прямоугольного профиль (рис. 7).

Схемы фрезерования. Существует встречное и попутное фрезерование. При

встречном фрезеровании (рис. 8, а) движение подачи  $D_s$  и движение резания  $D_r$  направлены навстречу друг другу. Зуб фрезы начинает резание в точке 1 с нулевой толщиной срезаемого слоя и заканчивается в точке 2, срезая максимальную толщину слоя  $a_{\text{наиб}}$ . При попутном фрезеровании (рис. 8, б) направление движения

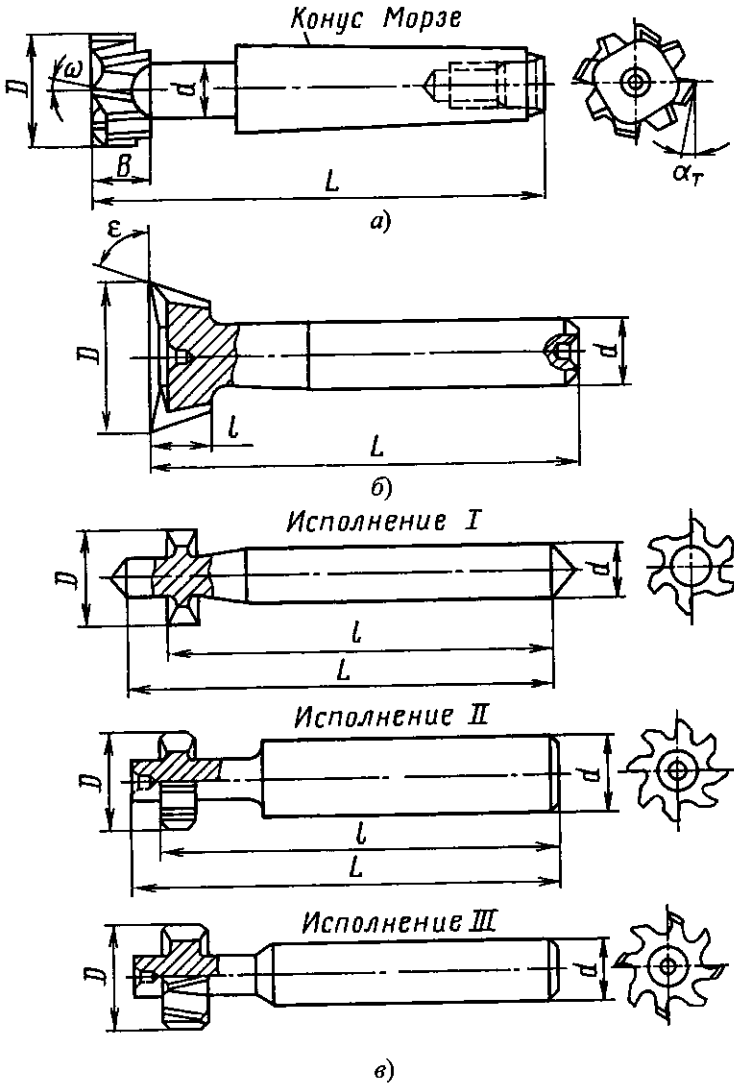


Рис. 7. Фрезы для обработки пазов: а – станочных Т-образных; б – типа "ласточкин хвост"; в – под сегментные шпопки

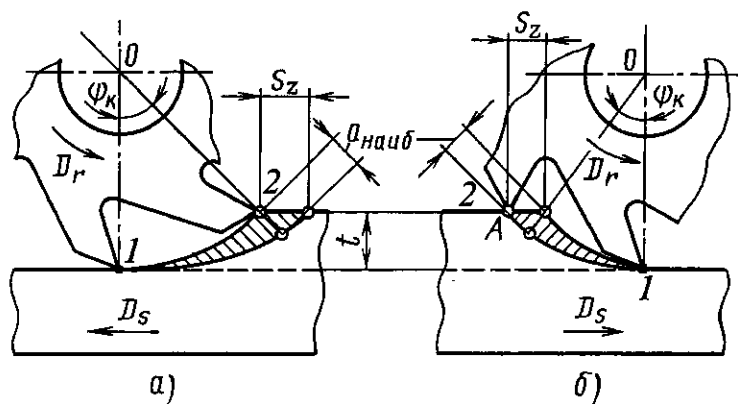


Рис. 8. Схемы фрезерования:

*a* – встречное фрезерование; *б* – попутное фрезерование;  $\psi_k$  – угол контакта фрезы

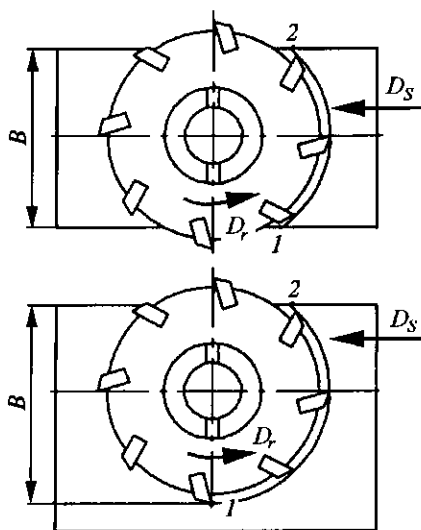


Рис. 9. Схемы фрезерования при работе торцовыми фрезами

подачи  $D_s$  совпадает с направлением вращения фрезы  $D_r$ . Зуб фрезы иачинает резание в точке 2 и заканчивает резание в точке 1 с нулевой толщиной срезаемого слоя.

При работе торцовыми фрезами и фрезерными головками подача направлена против вращения фрезы (рис. 9) и контактная дуга 1–2 определяется шириной фрезеруемой детали паза В.

**Профиль зубьев.** Зубья фрез имеют различный профиль. Зуб это выступ, содержащий

лезвие. Наиболее распространенный профиль зубьев показан на рис. 10, *a* – *e*. Фрезы, используемые для легких работ и снятия малых объемов металла, имеют форму зуба, изображенную на рис. 10, *a*. Профиль с ломаной и радиусной спиикой зуба (рис. 10, *б, в*) используют для фрез, работающих в тяжелых условиях и для снятия значительных объемов металла. Профиль зубьев фрез (рис. 10, *в, з*) используют для концевых фрез. Для шпоночных фрез используют профиль зуба, представленный на рис. 10, *з, д*. Фасонные фрезы имеют затылочный профиль зуба (рис. 10, *e*).

Параметры шероховатости поверхности и точность обработки при различных видах фрезерования представлены в табл. 1. Основные размеры стандартных фрез представлены в табл. 2; диаметры фрез в зависимости от ширины фрезерования и глубины резания – табл. 3; передние, задние, углы в плане для фрез из быстрорежущей стали – табл. 4, 5, 6; рекомендуемые значения углов наклона винтовой канавки у фрез из быстрорежущей стали – табл. 7; рекомендуемые значения геометрических параметров режущей части концевых фрез с винтовым канавками – табл. 8; рекомендуемые значения геометрических параметров режущей части торцовых фрез с пластинами из твердого сплава – табл. 9; дисковых фрез с пластинами из твердого сплава – табл. 10; прорезных фрез с пластинами из твердого сплава – табл. 11. Основные наладки и схемы обработки при фрезеровании представлены в табл. 12.

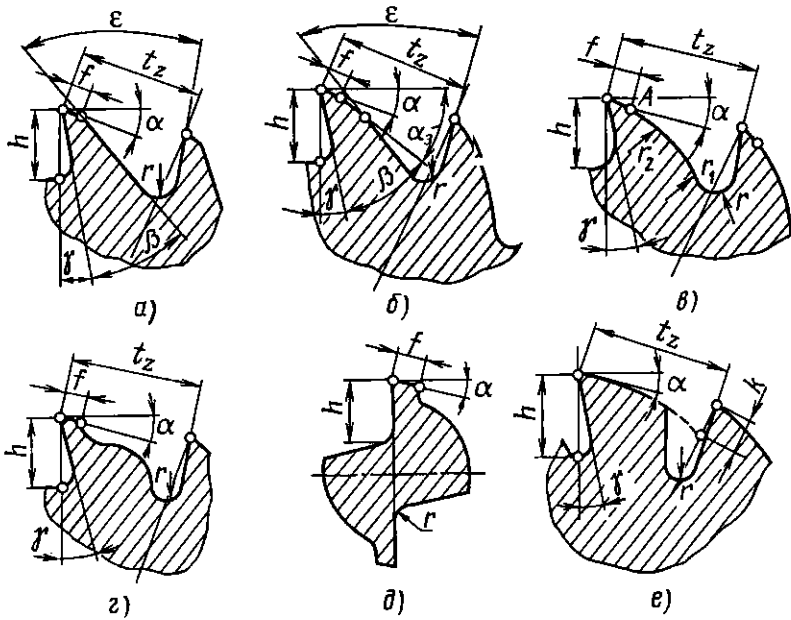


Рис. 10. Формы профиля зубьев фрез

**1. Параметры шероховатости поверхности и точность обработки при различных видах фрезерования**

Фреза	Вид фрезерования	Параметр режима резания		Параметр шероховатости, мкм		Квалитет
		$t$ , мм	$S_0$ , мм/об	$Ra$	$Rz$	
Цилиндрическая	Черновое	Св. 2	0,02...0,2	25...50	100...200	12-14 (11)
	Чистовое	До 2	0,04...0,3	3,2*...6,3	12,5...25	11 (10)
	Отделочное	До 0,5	0,04...0,05	0,63...1,6	-	8 (7); 9
Торцовая	Черновое	Св. 2	0,15...0,2	6,3...12,5	25...50	12-14 (11)
	Чистовое	До 2	0,2...0,3	3,2*(1,6)...6,3	12,5...25	11 (10)
	Отделочное	До 0,5	0,04...0,05	(0,8)...1,6	-	8 (7); 9
Концевая	Черновое	Св. 2	0,02...0,2	1,25...25	50...1000	12-14
	Чистовое	До 2	0,04...0,15	3,2...6,3	12,5...25	11 (10)
	Отделочное	До 0,5	0,02...0,04	(0,8)...1,6	-	8 (7); 9

Примечания: 1. Параметры шероховатости указаны для сталей; заготовки из сплавов на медной основе после фрезерования имеют такие же шероховатости; при обработке чугунов, алюминия и алюминиевых сплавов параметры шероховатости соответствуют меньшим значениям, приведенным в таблице; в круглых скобках указаны предельно достижимые значения параметра  $Ra$  и квалитета.

2. Звездочкой отмечены средние значения параметра  $Ra$  для данного вида обработки.



## 2. Основные размеры стандартных фрез, мм

Фрезы	ГОСТ	Наружный диаметр	Размеры присоединительной части инструмента
<i>Цилиндрические фрезы</i>			
Цельные: с мелкими зубьям	ОСТ 2 И41-15-87	(40); 50; 63; 80; (100)	Диаметр посадочного отверстия 16...40
с крупными зубьями		(50); (63); 80; 100	22...40
с мелкими или крупными зубьями	29092-91	50; 63; 80; 100	22...40
Составные с мелкими или крупными зубьями		80; 100; 125; 160	32...60
<i>Торцовые фрезы</i>			
Цельные насадине: с мелкими зубьями	9304-69 (в ред. 1981 г.)	40; 50; 63; 80 100	16...32
с крупными зубьями		63; 80; 100	27...32
для обработки легких сплавов	16222-81 (в ред. 1988 г.)	50; 63; 80	22...32
Сборные насадные со вставными но- жами, оснащенными твердым сплавом: с крупными зубьями	24359-80 (в ред. 1991 г.)	100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630	Диаметр посадочного отверстия 32...60
для обработки легких сплавов		16223-81 (в ред. 1988 г.)	100; 125; 160; 200; 250; 315
с мелкими зубьями	9473-80 (в ред. 1982 г.)	100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630	32...60
для труднообрабатываемых сталей и сплавов (с углом ф, равным 45 или 90°)	24359-80 (в ред. 1991 г.)	100; 125; 160; 200	40...60
<i>Концевые фрезы</i>			
Цельные: с цилиндрическим хвостовиком (с нормальными или крупными зубьями, с цилиндрической ленточкой или заточенные наостро)	17025-71 (в ред. 1996 г.)	2; 2,5; 3; 3,5; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28	Диаметр хвостовика 4...25
с коническим хвостовиком (с нормальными или крупными зубьями, с цилиндрической ленточкой или заточенные наостро)		17026-71 (в ред. 1996 г.)	10; 11; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 32; 36; 40; 45; 50; 56; 63

Продолжение табл. 2

Фрезы	ГОСТ	Наружный диаметр	Размеры присоединительной части инструмента
с цилиндрическим хвостовиком для обработки легких сплавов	16225-81 (в ред. 1988 г.)	1,5; 1,8; 2,0; 2,2; 2,5; 2,8; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12	Диаметр хвостовика 2...12
с коническим хвостовиком для обработки легких сплавов		(12); 14; 16; 18; 20; 22; (24); 25; 28; (30); 32; 36; 40; 45; 50	Конус Морзе 2-4
с резьбовым хвостовиком двузубые для обработки легких сплавов	16226-81 (в ред. 1988 г.)	8; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 24; 25; 28; 30; 32; 36; 40	Резьбовая часть M14 - M27
с коническим хвостовиком радиусные для обработки легких сплавов	16231-81 (в ред. 1988 г.)	12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 32; 36; 40; 50	Конус Морзе 2-4
Обдирочные с коническими хвостовиками (с торцовыми зубьями или без них)	15086-69 (в ред. 1990 г.)	25; 32; 40; 50; 63; 80	3-6
Оснащенные твердосплавными коронками: с цилиндрическим хвостовиком	20533-75 (в ред. 1987 г.)	10; 12; (14)	Диаметр хвостовика 10...14
с коническим хвостовиком	20534-75 (в ред. 1987 г.)	10; 12; (14); 16; (18); 20; (22)	Конус Морзе 3
с резьбовым хвостовиком	20535-75 (в ред. 1987 г.)	10; 12; (14); 16; (18); 20; (22)	Резьбовая часть хвостовика M16; M20
Оснащенные винтовыми твердосплавными пластиками: с цилиндрическим хвостовиком	20536-75 (в ред. 1987 г.)	10; 12,5; 16; 20	Диаметр хвостовика 10...20
с коническим хвостовиком	20537-75 (в ред. 1987 г.)	12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50	Конус Морзе 2-5
удлиненные с коническим хвостовиком	20538-75 (в ред. 1987 г.)	20; 25; 32; 40; 50	3-5
Твердосплавные (праворежущие и леворежущие): цельные	18372-73 (в ред. 1989 г.)	3; (3,5); 4; (4,5); 5; (5,5); 6; (6,5); (7); (7,5); 8; (8,5); (9); (9,5); 10; (10,5); (11); (11,5); 12	Диаметр хвостовика 3...12
со стальным хвостовиком		От 5 до 12 те же размеры, что и у цельных фрез	5...12

Продолжение табл. 2

Фрезы	ГОСТ	Наружный диаметр	Размеры присоединительной части инструмента
Цельные твердосплавные с цилиндрическим хвостовиком для труднообрабатываемых сталей и сплавов: сферические грушевидные сферические эллипсоидные сфероцилиндрические цилиндрические конические	18934-73 18935-73 18936-73 18937-73 18938-73	4; 6; 8	Диаметр хвостовика 4; 6; 8
Твердосплавные удлиненные с цилиндрической оправкой для труднообрабатываемых сталей и сплавов: сферические грушевидные  сферические эллипсоидные сфероцилиндрические цилиндрические конические	18939-73 (в ред. 1980 г.) 18940-73 18941-73 18942-73 18943-73	4; 6; 8	6; 8; 10
С цилиндрическим хвостовиком, оснащенные пластинами из твердого сплава, для труднообрабатываемых сталей и сплавов: сферические  сферические эллипсоидные сфероцилиндрические сфероконические цилиндрические	18944-73 (в ред. 1980 г.) 18945-73 (в ред. 1980 г.) 18946-73 (в ред. 1980 г.) 18947-73 (в ред. 1985 г.) 18948-73 (в ред. 1980 г.)	10; 12,5; (14); 16; (18); 20; (22)	8; 10
С удлиненной рабочей частью и винтовыми зубьями со смещенными режущими пластинами из твердого сплава	28709-90	32 40 50; 63; 80; 100	Конус Морзе 4 Конус 40 50
С механическим креплением многогранных твердосплавных пластины	28436-90	12; 16; 20; 25; 32; 40; 50	Конус Морзе 2-4

*Шпоночные фрезы*

Цельные: с цилиндрическим хвостовиком	9140-78 (в ред. 1995 г.)	2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25	Диаметр хвостовика 2...25
с коническим хвостовиком		10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 32; 36; 40	Конус Морзе 1-4
твердосплавные с цилиндрическим хвостовиком	16463-80 (в ред. 1992 г.)	2; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12	Диаметр хвостовика 3...12

Продолжение табл. 2

Фрезы	ГОСТ	Наружный диаметр	Размеры присоединительной части инструмента
Оснащенные твердосплавными пластинами: с цилиндрическим хвостовиком	6396-78 (в ред. 1992 г.)	10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25	Диаметр хвостовика 10...25
с коническим хвостовиком		12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 32; 36; 40	Конус Морзе 1 - 4
для пазов шпонок сегментных	ОСТ 2 И41-13-87	4,3; 7,5; 10,8; 14; 17,3; 20,5; 23,8; 27; 30,2; 34,6	Диаметр хвостовика 6...2
<i>Фрезы с механическим креплением твердосплавных пластин</i>			
Торцовые с механическим креплением многогранных пластин	26595-85 (в ред. 1991 г.)	50; 63; 80; 100; 125; 160; 200	Диаметр посадочного отверстия: 22; 27; 32; 40; 50; 60
Торцовые концевые с механическим креплением твердосплавных пластин: пятигранных	22087-76 (в ред. 1982 г.)	63; 80	Конус Морзе 4; 5
круглых	22088-76 (в ред. 1982 г.)	50; 63; 80	
Насадки торцово-цилиндрические с винтовыми зубьями со смежными многогранными твердосплавными пластинами	28719-90	50; 63; 80; 100; 125	Диаметр посадочного отверстия: 22...50
<i>Пазовые фрезы</i>			
Дисковые цельные: с остроконечным зубом	3964-69 (в ред. 1988 г.)	50; 63; 80; 100; 125; 160; 200	16...40
с затылованным зубом	8543-71 (в ред. 1991 г.)	50; 63; 80; 100	16...32
Для обработки Т-образных пазов: с цилиндрическим или коническим хвостовиком (с нормальными или крупными зубьями)	7063-72 (в ред. 1991 г.)	12,5; 16; 18; 21; 25; 32; 40; для фрез с коническим хвостовиком дополнительно: 50; 60; 72; 85; 95	Для фрез: с цилиндрическим хвостовиком - диаметр 10...25; с коническим хвостовиком - конус Морзе 1 - 5
с напаянными твердосплавными пластинками (с коническим хвостовиком)	10673-75 (в ред. 1991 г.)	18; 21; 25; 32; 40; 50; 60; 72; 85; 95	Конус Морзе 1 - 5

Продолжение табл. 2

Фрезы	ГОСТ	Наружный диаметр	Размеры присоединительной части инструмента
<i>Дисковые фрезы</i>			
Трехсторонние:	28527-90	50; 63; 80; 100; 125; 160; 200	Диаметр посадочного отверстия: 16...40
с разнонаправленными зубьями для обработки легких сплавов	16227-81 (в ред. 1988 г.)	50; 63; 80; 100	19...32
Сборные трехсторонние со вставными ножами из быстрорежущей стали для обработки легких сплавов	16228-81 (в ред. 1988 г.)	80; 100; 125; 160; 180; 200; 224; 250; 315	Диаметр посадочного отверстия: 27...50
То же, из твердого сплава	5348-69 (в ред. 1981 г.)	100; 125; 160; (180); 200; (224); 250; 315	27...60
Сборные двусторонние со вставными ножами:			
из быстрорежущей стали для обработки легких сплавов (правые и левые)	16229-81 (в ред. 1988 г.)	80; 100; 125; 160; 180; 200; 224; 250; 315	27...50
из твердого сплава (правые и левые)	6469-69 (в ред. 1981 г.)	100; 125; 160; (180); 200; (224); 250; 315	27...60
Трехсторонние с механическим креплением многогранных твердосплавных пласти	28437-90	80; 100; 125; 160; 200; 250; 315	28...80
Двухсторонние с механическим креплением многогранных твердосплавных пластин (правые и левые)		125; 160; 200; 250; 315	40...80
<i>Прорезные (шлицевые) и отрезные фрезы</i>			
Цельные и посадные:	2679-93	20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315	5...40
с мелкими, средними или крупными зубьями			
для обработки легких сплавов (отрезные)	16230-81 (в ред. 1988 г.)	63; 80; 100; 125; 160; 200	16...32
Дисковые цельные для резки пластмасс:	20317-74 (в ред. 1981 г.)	100; 125; 160; 200	Диаметр посадочного отверстия: 22; 27; 32
типа пистолет:			
с разведенными зубьями			
с крупными зубьями		315; 400	40; 50

Окончание табл. 2

Фрезы	ГОСТ	Наружный диаметр	Размеры присоединительной части инструмента
типа гетинакс: с разнонаправленными зубьями	20318-74 (в ред. 1981 г.)	100; 125; 160; 200; 315; 400	Диаметр посадочного отверстия: 22; 27; 32
с мелкими зубьями		315; 400	40; 50
Дисковые: с разнонаправленными зубьями для разрезки листов из винипласта и органического стекла	20324-74 (в ред. 1981 г.)	100; 125; 160; 200	22; 27; 32
с разведенными зубьями для разрезки листов из органического стекла, полиэтилена и полистирола	20326-74 (в ред. 1981 г.)	160; 200; 250	32
для разрезки листов и труб из винипласта и органического стекла толщиной до 15 мм	20327-74 (в ред. 1981 г.)	100; 125; 160; 200; 250	22; 27; 32
для разрезки листов из винипласта и органического стекла и труб из винипласта и полиэтилена	20328-74 (в ред. 1981 г.)	315; 400	40; 50
для разрезки пластмасс типа тексто- лита, гетинакса и стеклопластиков: с разнонаправленными зубьями, оснащенными твердосплавными пластинками	20320-74 (в ред. 1987 г.)	200; 250; 315; 400	32; 40; 50
со вставными ножами, оснащенны- ми твердосплавными пластинками	20321-74 (в ред. 1981 г.)	250; 315; 400	32; 40; 50
Сегментные с крупным зубом для разрезки пластмасс типа текстолит и гетинакс	20319-74 (в ред. 1981 г.)	250; (280); 315; (355); 400	32; 40; 50
Дисковые для разрезки листов из термопластичных пластмасс	20325-74 (в ред. 1981 г.)	160; 200; 250	Диаметр посадочного отверстия: 32

*Полукруглые фрезы*

Выпуклые	9305-93	50; 63; 80; 100; 125; 130	16...40
Вогнутые		50; 63; 80; 100; 125; 160	

Примечания: 1. Для применения предпочтительны фрезы с диаметрами первого ряда.  
2. В скобках даны диаметры второго или третьего ряда, применять которые не рекомендуется.

## 3. Диаметры фрез в зависимости от ширины фрезерования и глубины резания, мм

## Цилиндрические фрезы

Ширина фрезерования, не более	Глубина резания, не более			
	2	5	8	10
70	63	80	100	100
100	80	100		
150*	100	125	125	160
200*			160	200
250*	125	160	200	250
300*	160			

## Дисковые фрезы

Ширина фрезерования	Глубина резания до					
	5	10	20	30	60	100
10	50	63	80	100	160	—
20	63	80	100	125	200	315
40	80	100	125	160	200	315

## Торцовые фрезы

Глубина резания до	4		6			8	10
	40	60	90	120	180	250	350
Ширина фрезерования до	50...63	80...100	125...160	160...200	250	315...400	400...500
Диаметр фрезы	50...63	80...100	125...160	160...200	250	315...400	400...500

\* При ширине фрезерования  $B > 100$  мм применяют сборные составные фрезы.

## 4. Передние углы фрез из быстрорежущей стали, °

Обрабатываемый материал	Фрезы				
	торцовые, цилиндрические, дисковые, концевые	дисковые пазовые и отрезные		фасонные и угловые для обработки	
		$B^* < 3$ мм	$B^* > 3$ мм	черновой	чистовой
Стали:					
углеродистые и легированные с $\sigma_b$ , МПа:					
до 600	20	5	10	5	10
600...1000	15	5	10	5	5
св. 1000	10	5	10	10	—
жаропрочные и коррозионно-стойкие	10...15	—	10...15	5	—
Чугун твердостью НВ:					
до 150	15	5	10	15	5
150...220	10	5	10	10	5
220 и более	5	5	10	10	5
Сплавы:					
медные	10	5	10	10	5
алюминиевые	25	25	25	—	—
Пластмассы	610	8	10	—	—

\*  $B$  — ширина фрезерования.

## 5. Задние углы фрез из быстрорежущей стали

Фрезы	Задний угол, °	
	главный $\alpha_n$	торцовый $\alpha_r$
Цилиндрические и торцовые (см. рис. 2 и 3): с мелкими зубьями	16	8
со вставными ножами и крупными зубьями	12	
Дисковые трех- и двусторонние: цельные	20	6
со вставными ножами	16	
Дисковые пазовые и отрезные	20	—
Концевые	14	
Прорезные (шлицевые)	30	
Фасонные и угловые: незатылованные	16	8
с затылованным зубом	12	

## 6. Углы в плане, °

Фрезы	Главный $\phi$	Вспомогательный $\phi_1$	Переходной кромки $\phi_0$	Длина переходной кромки $f_0$ , мм
Торцовые для стали и медных сплавов: со вставными ножами	45...60	1...2	—	—
цельные	90	1...2	45	1,0...2
Торцовые для жаропрочных и коррозионно-стойких сталей	45	2	45	2
Концевые	90	3	45	0,5...1,0
Дисковые: трех- и двусторонние	90	1...2	45	1,0...1,5
пазовые	90	1...2	—	—
Прорезные (шлицевые)	—	0°15'...1°30'	—	—
Отрезные (шириной более 3 мм)	—	0°15'...1°	45	0,5

Примечания: 1. У цилиндрических фрез с углом наклона зубьев более 30° передний угол  $\gamma = 15^\circ$  при обработке стали с  $\sigma_s < 600$  МПа.

2. Для фасонных фрез с передним углом  $\gamma > 0$  необходима коррекция контура при обработке точных профилей.

3. При обработке жаропрочных и коррозионно-стойких сталей торцовыми фрезами необходимо брать большие значения передних углов; при обработке концевыми и цилиндрическими фрезами — меньшие значения.

4. На задней поверхности фрез при заточке необходимо оставить круглошлифованную ленточку шириной не более 0,1 мм. Зубья у шлицевых (прорезных) и отрезных фрез затачивают без ленточки.

## 7. Рекомендуемые значения углов наклона винтовой канавки у фрез из быстрорежущей стали

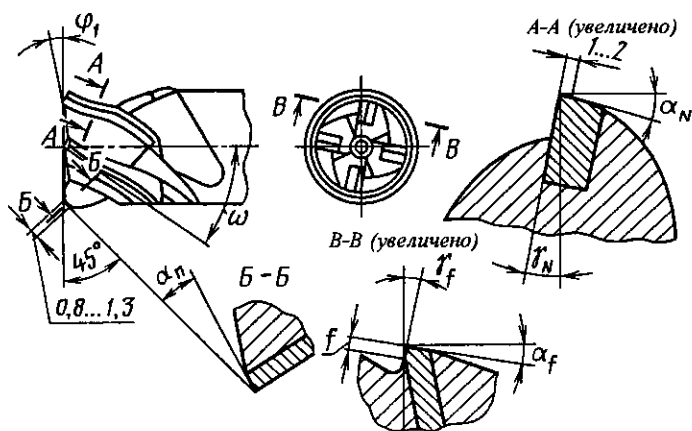
Фрезы	$\omega$ , °
Цилиндрические: крупнозубые	40
мелкозубые	30...45
составные	20...45
Концевые	30...45
Шпоночные	15...25



Окончание табл. 7

Фрезы	$\omega$ , °
Дисковые: двусторонние трехсторонние трехсторонние с радионаправленным зубом	15 8...15 10...15
Дисковые: трехсторонние сборные при ширине, мм: до 15 св. 15 трехсторонние двойные	8...10 12...15 15
Торцовые: с цельными зубьями со вставными ножами из быстрорежущей стали	25...40 10

### 8. Рекомендуемые значения геометрических параметров режущей части концевых фрез с винтовыми пластинами из твердого сплава, °



Материал заготовки	Угол заточки фрезы		Фаска	
	передний $\gamma_N$	задний $\alpha_n$	Ширина ленточки $f$ , мм	Передний угол на фаске $\gamma_f$
Стали углеродистая и легированная с $\sigma_s < 750$ МПа; чугуны с $HB < 200$ ; бронза с $HB < 140$	+5	17	—	—
Стали углеродистая и легированная с $\sigma_s = 750 \dots 1100$ МПа; чугуны с $HB > 200$ ; бронза с $HB > 140$	0	17	0,2...0,6	0
Стали углеродистая и легированная с $\sigma_s > 1100$ МПа	-5	15	1,0...2,0	-5
Труднообрабатываемые жаропрочные стали и сплавы	+5	20	—	—

Примечание. Угол наклона винтовой канавки  $\omega = 22 \dots 40^\circ$ .

### 9. Рекомендуемые значения геометрических параметров режущей части торцовых фрез с пластинами из твердого сплава, °

Обрабатываемый материал	Угол						наклона режущей кромки $\lambda$
	передний $\gamma_N$	Задний ( $\alpha_N = \alpha_T$ ) для работы с подачей, мм/об		в плане			
		до 0,25	св. 0,25	главный $\phi$	переходной кромки $\phi_0$	вспомогательный $\phi_1$	
Стали: конструкционные углеродистые и легированные с $\sigma_b$ , МПа: до 800 св. 800 коррозионно-стойкие и жаропрочные	-5 -10 +8	12...16 10	6...8	15...60 <sup>*1</sup> 30...60	0,5 $\phi$ 1,0 <sup>*2</sup>	5 10	12...15 0
Чугун: серый, HB > 200 ковкий	+5 +7	12...15 6...8	6...8	15...60 <sup>*1</sup> 60	0,5 $\phi$ 0,5 $\phi$	5 2	12...15 12...15

\*1 Малые углы в плане  $\phi = 15...30^\circ$  следует применять при обработке на жестких станках для черновых проходов с малыми глубинами резания или чистовых проходов с невысокими требованиями к шероховатости поверхности и точности обработки.

\*2 Радиус при вершине  $r$ , мм.

### 10. Геометрические параметры режущей части дисковых фрез с пластинами из твердого сплава, °

Обрабатываемый материал	Передний угол $\gamma_N$	Передний угол на фаске $\gamma_f$	Задний угол			Угол наклона зуба $\omega$	Вспомогательный угол в плане $\phi_1$
			на периферии зуба $\alpha_N$	на боковой стороне зуба $\alpha_1$	на переходной кромке $\alpha_f$		
Конструкционные стали, чугун с $\sigma_b$ : до 800 МПа	5	—	12	4	15	10	2...4
Конструкционные стали с $\sigma_b$ : св. 800 МПа	5	-5	12	4	15		

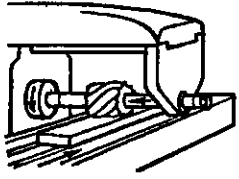
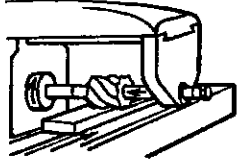

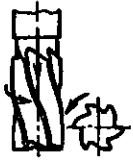


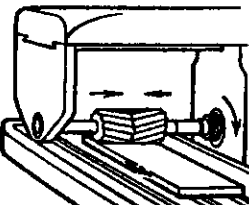
### 11. Рекомендуемые геометрические параметры режущей части дисковых прорезных фрез с пластинами из твердого сплава при фрезеровании труднообрабатываемых сталей и сплавов, °

Обрабатываемые сплавы	$\gamma_N$	$\alpha_N$	$\phi_1$
Коррозионно-стойкие и жаропрочные стали и сплавы	5...10	18	1°...1°30'
Титановые	0	20	1°...1°30'
Молибденовые	0...-5	18	1...2
Вольфрамовые	0...-5	20	1...2

Примечания: 1. Меньшие углы  $\phi$  применяют для фрез шириной до 1,5 мм; большие значения — для фрез шириной более 1,5 мм.

2. При фрезеровании жаропрочных сталей большой период стойкости имеют цельные фрезы из ВК10М, а при фрезеровании жаропрочных, титановых и тугоплавких сплавов — фрезы с пластинами из ВК8 или ВК6М.

## 12. Основные наладки и схемы обработки при фрезеровании

Схема обработки	Направление			Назначение
	винтовой канавки фрезы	вращения шпинделя	осевой силы	
	Правое	Левое	В шпиндель	Встречное фрезерование заготовок с неснятой коркой при большой глубине резания
	Левое	Правое	В шпиндель	Попутное фрезерование предварительно обработанных жестких деталей
	Правое	Правое	Из шпинделя	Фрезерование закрытых пазов
	Левое	Левое	Из шпинделя	
	Левое	Правое	В шпиндель	Фрезерование открытых поверхностей
	Правое	Левое		
	-	-	-	При установке спаренных фрез

## РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ

Режим резания выбирают в зависимости от материала обрабатываемой заготовки, типа фрезы, материала инструмента и других условий обработки. Средние периоды стойкости фрез, допустимые радиальные биения зубьев фрез, рекомендуемые подачи при фрезеровании даны в табл. 13 – 19. Коэффициенты для определения скорости резания, рекомендуемые скорости резания представлены в табл. 20 – 25.

При скоростном резании фрезами, оснащенными пластинами из твердого сплава, инструмент необходимо надежно и жестко крепить в шпинделе. Для повышения качества обработанной поверхности и периода стойкости торцевой фрезы шпиндельную головку поворачивают на угол  $\beta = 20...30'$ , чтобы исключить царапание обработанной поверхности зубом фрезы.

13. Средние периоды стойкости фрез, мин

Фрезы	Диаметр фрезы <i>D</i> , мм	Период стойкости <i>T</i> при обработке фрезами				
		с пластинами из твердого сплава		из быстрорежущей стали		
		стали	чугуна	стали и ковкого чугуна	серого чугуна	медных сплавов
Торцовые	До 40	—	—	120	120	120
	» 63	120* <sup>1</sup>	120* <sup>1</sup>	180	180	180
	80; 100	180	120	180	180	180
	125; 160	180	180	180	180	180
	200; 250	240	180	240	240	240
	315 400 и более	300 420	300 420	300 —	300 —	300 —
Цилиндрические цельные	До 63	—	—	120	120	120
	100	—	—	180	180	180
Цилиндрические со вставными ножами	63... 125	180* <sup>1</sup>	180* <sup>1</sup>	180	180	180
	160... 250	—	—	180	180	180
Концевые	До 20	120* <sup>2</sup>	120* <sup>2</sup>	60	60	60
	25	90	90	60	60	60
	40	120	90	90	90	90
	63	180	120	120	120	120
Дисковые	До 80	120* <sup>1</sup>	120* <sup>1</sup>	120	120	120
	100	120	120	120	150	120
	125; 160	180	120	150	150	150
	200	240	180	150	180	150
	250	240	180	180	240	180
	315	240	240	180	240	180
Прорезные и отрезные	До 80	—	—	60	80	60
	100	—	—	75	120	75
	160	—	—	120	180	120
	200	—	—	150	210	150
Фасонные, полукруглые, выпуклые, вогнутые и угловые	63; 80	—	—	120	120	120
	100	—	—	180	180	180

\*<sup>1</sup> Фрезы с напаянными пластинами из твердого сплава.\*<sup>2</sup> Фрезы с пластинами из твердого сплава.

## 14. Допустимое радиальное биение зубьев фрез, мм

Диаметр фрезы, мм	Фрезы					
	цилиндрические	дисковые	торцовые	концевые	отрезные и прорезные	фасонные
До 100	0,03/0,06	0,05/0,10	0,05/0,04	0,03/0,06	0,06/0,10	0,03/0,06
100...125	—	0,06/0,12	0,06/0,05	—	0,06/0,10	0,03/0,06
125...160	—	0,06/0,12	0,06/0,05	—	0,08/0,12	—
160...200	—	0,06/0,12	0,06/0,05	—	0,08/0,12	—
200...315	—	0,08/0,15	0,06/0,06	—	0,10/0,16	—

Примечание. В числителе дроби – радиальное биение двух смежных зубьев фрезы; в знаменателе – двух противоположных зубьев.

15. Рекомендуемые подачи на зуб  $S_z$  при обработке стали различными фрезами, мм/зуб

Глубина резания, мм	Материал режущей части фрезы					
	Быстрорежущая сталь			Твердый сплав		
	$S_z$ при твердости обрабатываемой стали НВ					
	До 229	229...287	Св. 287	До 229	229...287	Св. 287

## Фреза торцовая

До 2	0,2...0,3	0,15...0,25	0,12...0,2	0,15...0,2	0,1...0,15	0,08...0,1
2...5	0,15...0,25	0,12...0,2	0,1...0,15	0,12...0,18	0,08...0,12	0,06...0,1
Св. 5	0,12...0,2	0,1...0,15	0,07...0,12	0,1...0,15	0,08...0,1	0,06...0,08

## Фреза дисковая для обработки плоских поверхностей пазов

До 2	0,15...0,25	0,12...0,2	0,1...0,15	0,1...0,12	0,08...0,1	0,06...0,08
2...5	0,12...0,2	0,1...0,15	0,08...0,12	0,08...0,1	0,064...0,1	0,06...0,08
Св. 5	0,1...0,15	0,08...0,12	0,06...0,1	0,08...0,1	0,06...0,08	0,05...0,06

## Фреза дисковая для обработки пазов\*

До 2	0,07...0,12	0,05...0,1	0,03...0,08	0,07...0,1	0,06...0,08	0,05...0,07
2...5						
Св. 5						

\* Меньшие значения принимают при обработке узких глубоких пазов и при работе фрезами небольших размеров.

Твердость стали НВ	$S_z$ прорезной фрезы из быстрорежущей стали при ширине фрезерования $B$ , мм		
	До 2	2...3	3...6
До 229	0,02...0,035	0,035...0,045	0,04...0,055
Св. 229	0,01...0,025	0,025...0,03	0,03...0,04

Глубина резания $t$ , мм	$S_z$ концевой фрезы из быстрорежущей стали диаметром $D$ , мм		
	6	16	30
До 5	0,005...0,01	0,01...0,025	0,05...0,07
10	0,003...0,006	0,008...0,015	0,03...0,05
20 и более	—	—	0,02...0,04

Окончание табл. 15

Ширина фрезерования $B$ , мм	$S_z$ фрезы из быстрорежущей стали					
	цилиндрической с крупными зубьями			радиусной вогнутой		
	Глубина резания $t$ , мм					
	До 2	3...5	6...10	До 3	До 6	До 12
До 50 Св. 50	0,25...0,4 0,15...0,25	0,2...0,3 0,1...0,2	0,1...0,2 0,1...0,15	— 0,04...0,08	— 0,03...0,06	— 0,02...0,04

Ширина фрезерования $B$ , мм	$S_z$ фрезы из быстрорежущей стали			
	радиусной выпуклой и угловой			для обработки пазов сегментных шпонок
	Глубина резания $t$ , мм			
	До 3	До 6	До 12	
До 50	0,06...0,12	0,04...0,12	0,03...0,06	0,025...0,01

Примечания: 1. Большие подачи принимать при жестких станках, деталях и оснастке, меньшие — при невысокой жесткости.

2. При очень жесткой системе станок — приспособление — инструмент — деталь подвчи могут быть увеличены, при нежесткой системе — уменьшены.

3. Для чистовой обработки подачи  $S_z < 0,1$  мм/зуб.

4. При обработке прорезными фрезами пазов повышенной точности подачу на зуб уменьшают в пределах 30 %.

5. Для концевых фрез, обеспечивающих лучший отвод стружки вследствие большого объема впадины и более крутой спирали, подача может быть увеличена до 0,08...0,12 мм/зуб.

6. При обработке цилиндрическими мелкозубыми фрезами подачу уменьшают в 2 раза.

### 16. Рекомендуемые подачи $S_z$ при черновом фрезеровании плоских поверхностей фрезами из быстрорежущей стали при обработке чугуна и медных сплавов, мм/зуб

Мощность станка (шпиндельной головки), кВт	Жесткость технологической системы	Фрезы цилиндрические		Фрезы торцовые		Фрезы дисковые трехсторонние	
		с крупным зубом и вставными ножами	с мелким зубом	с крупным зубом и вставными ножами	с мелким зубом	с крупным зубом и вставными ножами	с мелким зубом
До 5	Средняя	0,12...0,2	0,06...0,12	0,15...0,3	0,12...0,2	0,15...0,25	0,12...0,2
	Пониженная	0,1...0,15	0,05...0,1	0,1...0,2	0,08...0,15	0,1...0,24	0,08...0,15
Св. 5	Повышенная	0,25...0,4	0,12...0,2	0,3...0,5	0,2...0,3	0,25...0,4	0,2...0,3
	Средняя	0,2...0,3	0,1...0,15	0,2...0,4	0,15...0,3	0,2...0,3	0,15...0,25
	Пониженная	0,12...0,2	0,08...0,12	0,15...0,25	0,1...0,2	0,15...0,25	0,1...0,2
Св. 10	Повышенная	0,6...0,8	—	0,4...0,6	—	0,3...0,5	—
	Средняя	0,4...0,6	—	0,3...0,5	—	0,25...0,4	—
	Пониженная	0,25...0,4	—	0,2...0,3	—	0,2...0,3	—

Примечания: 1. Большие значения подачи принимают для меньшей глубины резания и ширины фрезерования, меньшие — для больших значений глубины резания и ширины фрезерования.

2. При фрезеровании жаропрочных сталей принимают те же значения подачи, что и для стали, но не более 0,3 мм/зуб.

**17. Рекомендуемые подачи  $S_0$  при чистовом фрезеровании плоских поверхностей цилиндрическими фрезами из быстрорежущей стали при обработке чугуна и медных сплавов, мм/об**

Параметр шероховатости поверхности	Диаметр фрезы $D$ , мм						
	50	63	80	100	125	160	200
$Rz = 10...20$	1,0...1,8	1,2...2,0	1,3...2,3	1,4...2,5	1,7...3,0	1,9...3,2	2,1...3,7
$Ra = 1,25...2,5$	0,6...1,0	0,7...1,2	0,7...1,3	0,8...1,4	1,0...1,7	1,1...1,9	1,2...2,1

Примечание. Значения приведены для жесткой технологической системы.

**18. Рекомендуемые подачи  $S_2$  при фрезеровании плоских поверхностей концевыми фрезами из быстрорежущей стали при обработке чугуна и медных сплавов, мм/зуб**

Глубина резания $t$ , мм	Диаметр фрезы $D$ , мм					
	16...18		20		25	
	Число зубьев фрезы					
	4	3	5	3	5	3
3	0,1...0,12	0,13...0,18	0,12...0,15	0,15...0,20	0,14...0,18	0,18...0,25
5	—	—	0,07...0,1	0,1...0,13	0,08...0,12	0,12...0,15
8	—	—	—	—	—	—

Глубина резания $t$ , мм	Диаметр фрезы $D$ , мм					
	32...36		40...45		50	
	Число зубьев фрезы					
	6	4	6	4	6	4
3	0,14...0,22	0,20...0,30	0,16...0,25	0,25...0,35	0,16...0,30	0,24...0,40
5	0,1...0,15	0,14...0,2	0,12...0,18	0,16...0,25	0,12...0,2	0,18...0,3
8	—	—	0,08...0,12	0,1...0,15	0,1...0,15	0,12...0,20

Примечание. При обработке криволинейных поверхностей значения подач уменьшают на 20...30 %.

**19. Рекомендуемые подачи  $S_2$  при фрезеровании алюминиевых и магниевых сплавов и пластмасс, мм/зуб**

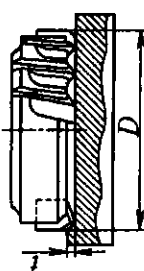
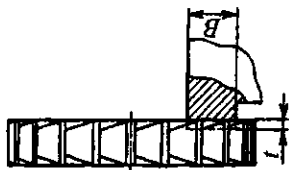
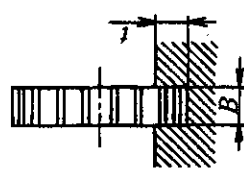
Обрабатываемый материал	Цельные фрезы из быстрорежущей стали		Сборные фрезы	
	цилиндрические, трехсторонние дисковые	торцовые и концевые	из быстрорежущей стали	оснащенные пластинами из твердого сплава
Алюминиевые сплавы	0,05...0,2	0,05...0,25	0,054...0,25	0,1...0,3
Магниевые сплавы	0,09...0,54	0,11...0,48	—	—
Пластмассы	0,05...0,5	0,1...0,8	0,1...0,8	0,03...0,8

20. Коэффициент  $K_2$  для определения скорости резания при обработке стали

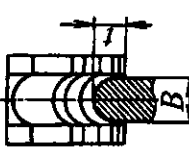
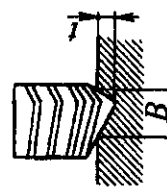
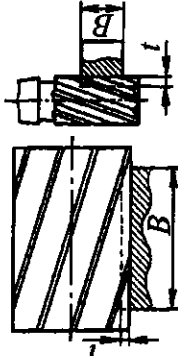
Обрабатываемая сталь		$K_2$ при материале инструмента	
Марка	Твердость НВ	Быстрорежущая сталь	Твердый сплав
10; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50	До 156	1,35	1,35
	156...207	1,0	1,0
	170...229	0,9	0,9
	207...269	0,7	0,75
	269...302	0,55	0,7
	285...321	0,5	0,65
15X; 20X; 30X; 35X; 38XA; 40X	137...179	1,0	1,1
	156...207	0,85	0,95
	170...217	0,8	0,9
	207...255	0,65	0,75
	255...285	0,55	0,72
	286...332	0,4	0,6
45Г2; 50Г	170...229	0,7	0,8
	229...269	0,55	0,7
	269...285	0,5	0,65
12Х2Н3А	156...217	0,75	0,85
12Х2Н4А	179...255	0,6	0,75
20ХНМ	156...207	0,8	0,9
40ХНМА	197...269	0,55	0,7
35ХГС	170...241	0,6	0,7
	269...321	0,35	0,5
	321...375	0,25	0,45
18ХГТ	149...187	0,9	0,95
25ХГТ; 30ХГТ	170...197	0,6	0,8



21. Рекомендуемые скорости резания при фрезеровании стальных заготовок, м/мин

Тип фрезы	Материал инструмента	Глубина резания, мм	Скорость резания при подаче $S_z$ , мм/зуб								Коэффициент $K_1$				
			До												
			0,02	0,04	0,06	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4		0,5			
Горловая 	Быстро-режущая сталь	До 1	62	56	52	44	38	34	30	27	$D/B \dots$	1,25	2	5	
		3 6	56 52	46 44	40 37	36 33	30 28	27 25	25	$K_1 \dots$	1,0	1,1	1,25		
	Твердый сплав	До 1	400	380	320	270	240	200	—	—	—	$D/B \dots$	1,25	2	5
		3 6	360 330	340 320	280 260	240 220	210 200	180 170	—	—	—	$K_1 \dots$	1,0	1,1	1,3
Дисксовая для обработки плоских поверхностей 	Быстро-режущая сталь	До 1	62	56	52	44	38	34	30	27	37	$D/B \dots$	3	5	10
		3 6	56 52	46 44	40 37	35 33	30 28	27 25	25	$K_1 \dots$	0,95	1,0	1,1		
	Твердый сплав	До 1	400	380	320	270	240	200	—	—	—	$D/B \dots$	3	5	10
		3 6	360 330	340 320	280 260	240 220	210 200	180 170	—	—	—	$K_1 \dots$	0,9	1,0	1,15
Дисксовая для обработки пазов 	Быстро-режущая сталь	До 3	80	70	65	55	48	42	37	—	—	$D/B \dots$	3	6	10
		5 10 20	67 56 45	60 50 40	55 46 37	46 40 32	40 34 27	35 30 24	30 26 20	—	—	$K_1 \dots$	1,0	1,1	1,2
	Твердый сплав	До 3	490	460	380	330	300	—	—	—	—	$D/B \dots$	4	6	12
		5 10 20	460 370 300	430 340 280	400 320 260	330 270 220	290 230 180	—	—	—	—	$K_1 \dots$	1,0	1,15	1,25



Тип фрезы	Материал инструмента	Глубина резания, мм	Скорость резания при подаче $S_{25}$ , мм/зуб										Коэффициент $K_1$					
			До 0,02	0,04	0,06	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5							
Радиусная вогнутая 		8	40	36	34	30	30	—	—	—	—	—	—	—	$D/t \dots$	10	20	40
		20	36	33	30	28	28	—	—	—	—	—	—	—	$KI \dots$	1,0	1,25	1,5
		40	34	30	28	25	—	—	—	—	—	—	—	—				
Двухугольная 	Быстро-режущая сталь	4	40	36	34	30	30	—	—	—	—	—	—	—	$D/t \dots$	5	10	20
		10	36	34	30	28	28	—	—	—	—	—	—	—	$KI \dots$	1,0	1,25	1,5
		20	34	32	28	25	—	—	—	—	—	—	—	—				
Цилиндрическая и концевая 		40	50	47	42	38	34	28	24	21	21	20	19	—	$D/t \dots$	10	20	30
		60	48	45	40	36	33	26	23	20	20	20	19	—	$KI \dots$	1,0	1,2	1,4
		100	46	43	38	34	30	25	21	19	19	19	19	—				
Фрезы для пазов сегментных шпонок			30	27	—	—	—	—	—	—	—	—	—					

Примечания: 1. Скорость резания  $v = v_{табл} K_1 K_2 K_3$ , где  $v_{табл}$  — табличное значение скорости;  $K_1, K_2$  и  $K_3$  — коэффициенты, зависящие соответственно от размеров обрабатываемой поверхности, материала заготовки, периода стойкости и материала инструмента. Значения  $K_2$  и  $K_3$  приведены в табл. 20 и 22.

2.  $D$  — диаметр фрезы, мм;  $B$  и  $l$  — соответственно ширина и глубина фрезерования, мм.

22. Коэффициент  $K_3$  для определения скорости резания при обработке сталл

Фреза	Материал инструмента	$K_3$ для периода стойкости $T$ фрезы, мин								
		До 30	60	100	150	200	400	600	1000	1500
Торцовая, дисковая, прорезная	Быстрорежущая сталь	1,5	1,15	1,0	0,9	0,8	0,7	0,55	0,5	0,45
Цилиндрическая, радиусная, концевая		1,6	1,2	1,0	0,85	0,75	—	—	—	—
Торцовая и дисковая	Твердый сплав:									
	T15K6	—	1,2	1,0	0,85	0,75	0,6	—	—	—
	T14K8	—	0,95	0,8	0,7	0,6	0,5	—	—	—
	T5K10	—	0,8	0,65	0,6	0,5	0,4	—	—	—

## 23. Рекомендуемые скорости резания при обработке заготовок из цветных сплавов и пластмасс, м/мин

Обрабатываемый материал	Цельные фрезы из быстрорежущей стали			Сборные фрезы	
	цилиндрические, дисковые трехсторонние	торцовые и концевые	отрезные	из быстрорежущей стали	твердосплавные
Латунь ЛС62	30...50	40...60	60...100	50...70	150...200
Бронза	25...40	30...50	60...100	40...60	100...150
Титан	8...18	10...20	10...20	12...25	30...60
Алюминий	250...300	300...400	250...300	400...500	800...1000
Дуралюмии	400...500	400...500	250...400	400...500	800...1000
Силумии (АЛ2, АЛ4, АЛ9)	200...250	250...350	250...400	250...350	800...1000
Магниеые сплавы (типа АМг и МА)	150...200	150...200	200...250	200...250	—
Пластмассы	30...50	40...60	100...200	60...80	200...500

24. Поправочный коэффициент  $K_{\text{таб}}$  для приближенного расчета скорости резания заготовок из серого, ковкого и прочного (модифицированного) чугунов

Чугун	Фреза				
	торцовая	дисковая для обработки			
		плоских поверхностей		пазов	
Твердосплавная	Из быстрорежущей стали	Твердосплавная	Из быстрорежущей стали	Твердосплавная	
Серый	0,45...0,55	1,25...1,35	0,45...0,55	$\frac{1,4}{0,95}$	0,39*...0,43
Ковкий и прочный	0,55...0,8	1,25...1,35	0,55...0,8	1,25...1,4	0,54...0,6

Чугун	Фреза		
	прорезная	концевая для обработки пазов	цилиндрическая и концевая
	Из быстрорежущей стали		
Серый	$\frac{0,68}{0,43} \dots \frac{1,08}{0,7}$	$\frac{1,25}{1}$	$\frac{1}{0,8} \dots \frac{1,15}{0,98}$
Ковкий и прочный	1,28	1,39	1,4

\* При обработке серого чугуна дисковыми пазовыми фрезами из твердого сплава значение коэффициента 0,39 в первом приближении соответствует значению  $S_r = 0,06$  мм/зуб.

П р и м е ч а н и я: 1. Приближенное значение скорости резания при обработке чугуна:  $v = (v_{\text{табл}} K_1 K_2 K_3) K_{\text{табл}}$ ,  $v_{\text{табл}}$  и  $K_1$  выбирают по табл. 21;  $K_2$  и  $K_3$  — по табл. 25 (приведенные значения справедливы для ковкого и прочного чугунов, но в первом приближении могут быть использованы и для серого чугуна).

2. Меньшие значения диапазонов соответствуют меньшим значениям подачи  $S_r$ .

3. В числителе приведены значения коэффициентов, соответствующие меньшим значениям глубины резания  $t$ , в знаменателе — большим значениям  $t$ .

### 25. Коэффициенты $K_2$ и $K_3$ для определения скорости резания при обработке ковкого и прочного чугунов

Обрабатываемая поверхность	Коэффициент $K_2$ при HB			
	120...140	130...170	207...229	265...285
Без корки	1,2	1,0	0,65	0,5
С коркой	0,85	0,7	0,55	0,45

Фреза	Материал инструмента		Коэффициент $K_3$ при периоде стойкости $T$ фрез, мин							
			до 30	60	100	150	200	400	600	1000
Торцовая и дисковая	Твердый сплав	ВК8	—	1,2	1,0	0,85	0,75	0,6	0,5	0,4
		ВК4; ВК6	—	1,4	1,2	1,0	0,9	0,7	0,6	0,5
Торцовая, дисковая, прорезная	Быстрорежущая сталь		1,5	1,15	1,0	0,9	0,8	0,7	0,55	0,5
Цилиндрическая, концевая			1,5	1,2	1,0	0,85	0,8	—	—	—

Применяют однозубые и многозубые фрезы. Достоинством многозубых фрез является возможность получения больших подач при малых подачах на зуб и высокая надежность в работе. Достоинство однозубых фрез — простота эксплуатации и заточки.

Возможность высокопроизводительной обработки различных материалов (в том числе закаленных), малый размерный износ и высокая стойкость инструмента позволяют во многих случаях успешно применять процесс фрезерования вместо шлифования. В табл. 26 даны сведения по обработке плоских поверхностей деталей металлоре-

жущих станков фрезами, оснащенными вставками из композита 01; в табл. 27 — режимы резания торцовыми фрезами с режущей частью из композита; в табл. 28 — режимы резания торцовыми фрезами с механическим креплением пластин.

Для черновой, полунтошовой и чистовой обработки закаленных инструментальных и конструкционных легированных сталей и чугунов используют торцовые фрезы (см. рис. 3) с механическим креплением круглых пластин из композита. Фрезы изготавливают право- и лево-режущими номинальных диаметров, мм: 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400.

26. Обработка плоских поверхностей деталей металлорежущих станков фрезами

Деталь	Материал детали – чугун марки	Оборудование	Режимы обработки			Обрабатываемая поверхность		Используемый инструмент
			v, м/мин	S	f, мм	Параметр шероховатости R <sub>a</sub> , мкм	Допуск формы и расположения, мм	
Направляющая поперечины	СЧ 20 (170...241 НВ)	Продольно-шлифовальный станок мод. 3512В	850	1,5...2 м/мин	0,05...0,8	1,25...2,5	Отклонение от прямолинейности 0,01...0,02 на длине 2...2,5 мм	Фреза со вставками из композита 01
			1000	1,5 м/мин	0,3			
Нижняя и верхняя части суппорта станка модели 16К20	СЧ 20	Продольно-шлифовальный станок мод. МШ-123	300	150 мм/мин	0,1...0,2	1,25	Отклонение от плоскостности 0,02	Фреза однозубая со вставкой из композита 01
			600	250 мм/мин	0,3			
Хобот фрезерного станка	СЧ 15	Продольно-фрезерный станок мод. ГФ-120	220	0,1 мм/об	0,15	2,5	Отклонение от плоскостности 0,015	Фреза двузубая со вставками из композита 01
Корпус механизма поперечной подачи	СЧ 20	Станок мод. СИП						Фреза однозубая со вставкой из композита 01

## 27. Режимы резания торцовыми фрезами с режущей частью из композита

Материал обрабатываемой заготовки	Марка композита	Режимы резания		
		Скорость $v$ , м/мин	Подача $S$ , мм/об	Глубина резания $t$ , мм
Стали: инструментальные, легированные, конструкционные $40 \leq \text{HRC} \leq 50$ закаленные: $50 \leq \text{HRC} \leq 60$  $60 \leq \text{HRC} \leq 70$	01; 02; 09; 10	$\frac{150 \dots 200}{200 \dots 300}$	$\frac{0,07 \dots 0,15}{0,01 \dots 0,07}$	$\frac{0,5 \dots 1,5}{0,1 \dots 0,2}$
		$\frac{80 \dots 120}{100 \dots 140}$	$\frac{0,07 \dots 0,15}{0,01 \dots 0,04}$	
		$\frac{70 \dots 90}{80 \dots 120}$	$\frac{0,02 \dots 0,12}{0,01 \dots 0,03}$	$\frac{0,5 \dots 1,0}{0,05 \dots 0,15}$
		$\frac{400 \dots 600}{600 \dots 1200}$	$\frac{0,07 \dots 0,15}{0,01 \dots 0,04}$	$\frac{1,0 \dots 2,0}{0,1 \dots 0,2}$
$\frac{80 \dots 150}{120 \dots 150}$		$\frac{0,07 \dots 0,10}{0,01 \dots 0,04}$	$\frac{0,5 \dots 1,0}{0,05 \dots 0,15}$	
$\frac{80 \dots 140}{100 \dots 200}$		$\frac{0,07 \dots 0,15}{0,01 \dots 0,04}$		
$\frac{10}{0,9; 10}$		$\frac{10 \dots 20}{20 \dots 30}$	$\frac{0,05 \dots 0,10}{0,01 \dots 0,03}$	$\frac{0,3 \dots 0,5}{0,05 \dots 0,1}$
Чугуны: серые и высокопрочные, 150...270 НВ  отбеленные закаленные, 400...600 НВ				
Серый чугун и закаленная сталь (совместная обработка)				
Закаленная сталь и твердый сплав марок ВК15, ВК20, ВК25 (совместная обработка)				

Примечания: 1. Композиты: 01 – эльбор-Р; 02 – белбор; 09 – смесь вюрцитного и кубического нитрида бора; 10 – гексанит-Р.

2. В числителе приведены данные для полустачевой обработки, в знаменателе – для чистовой.

## 28. Режимы резания торцовыми фрезами с механическим креплением пластин из композита 05 и минералокерамики

Вид фрезерования	Материал		Скорость резания $v$ , м/мин	Подача $S$ , мм/зуб	Глубина резания $t$ , мм
	режущей части	обрабатываемой детали			
Чистовое	Композит 05	Чугун серый (180...200 НВ)	600...1800	0,008...0,02	0,05...0,5
Получистовое			400...800	0,02...0,05	0,5...2,5
Черновое			400...600	0,02...0,08	3,5...5,0
Чистовое	ВОК-60	Чугун серый (180...200 НВ)	600...1000	0,008...0,02	0,05...0,5
Получистовое			300...600	0,02...0,05	0,5...2,0
Черновое			300...500	0,02...0,05	3,5...5,0
Чистовое		Сталь (56...61 HRC)	100...200	0,008...0,02	0,05...0,5
Получистовое			100...150	0,02...0,05	0,5...1,5
Черновое				0,02...0,05	3,5...5,0

Окончание табл. 28

Марка керамики	Обрабатываемый материал	Параметры режима обработки			Параметр шероховатости обработанной поверхности $Ra$ , мкм
		$v$ , м/мин	$S_z$ , мм/зуб	$t$ , мм	
ВОК-60, В-3	Сталь 40Х (35...45 HRC)	150...200	0,03...0,05	0,5...1	0,63
ВШ-75		120...180	0,02...0,04		
ВОК-60	Серый чугун (190...200 НВ)	350...400	0,12...0,15	1...2	1,25
В-3			0,04...0,1		
ВШ-75					

Примечания: 1. Для фрез, оснащенных пластинами из минералокерамики В-3, режимы резания должны быть снижены на 15 %.

2. Композит 05 – кубический нитрид бора с легирующими добавками.

3. Шарина фрезерования равна  $(0,6...0,8) D_\phi$ , где  $D_\phi$  – диаметр фрезы, мм.

Технические требования, предъявляемые к торцовым фрезам с режущей частью из композита и минералокерамики, следующие:

1. Допуск радиального биения главных режущих кромок относительно оси посадочного отверстия не должен превышать:

а) при проверке двух противоположных ножей:

для фрез нормальной точности – 0,04 мм;

для фрез повышенной точности, в том числе регулируемых – 0,03 мм;

б) при проверке двух смежных ножей: для фрез нормальной точности – 0,03 мм;

для фрез повышенной точности, в том числе регулируемых – 0,02 мм.

2. Допуск торцового биения режущей части кромки переходной фаски или радиуса при вершине относительно опорного торца не должен превышать:

а) при проверке двух противоположных ножей:

для фрез нормальной точности – 0,04 мм;

для фрез повышенной точности – 0,03 мм;

для фрез регулируемых – 0,007 мм;

б) при проверке двух смежных ножей:

для фрез нормальной точности – 0,03 мм;

для фрез повышенной точности – 0,02 мм;

для регулируемых фрез – 0,005 мм.

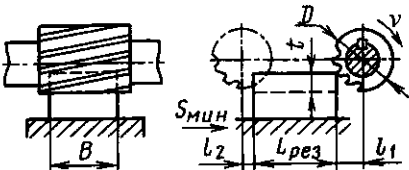
3. Отклонение от перпендикулярности опорного торца относительно оси посадочного отверстия не должно превышать:

для фрез нормальной точности – 0,03 мм;

для фрез повышенной точности, в том числе регулируемых – 0,02 мм.

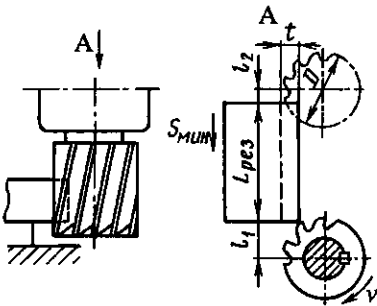
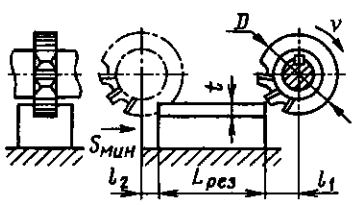
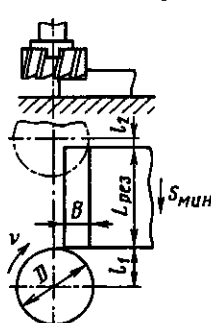
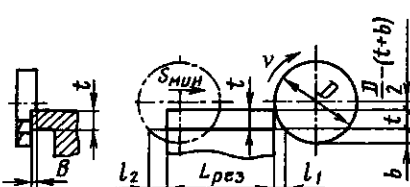
Расчет основного времени на различных операциях фрезерования представлен в табл. 29.

### 29. Расчет основного времени при работе на фрезерных станках

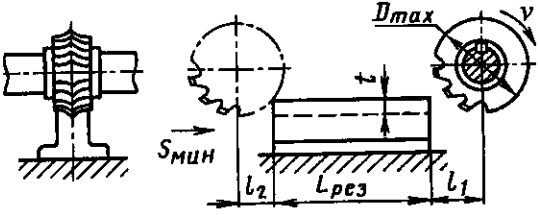
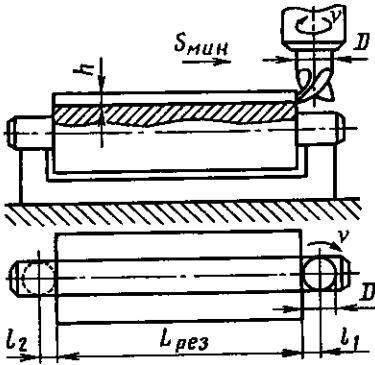
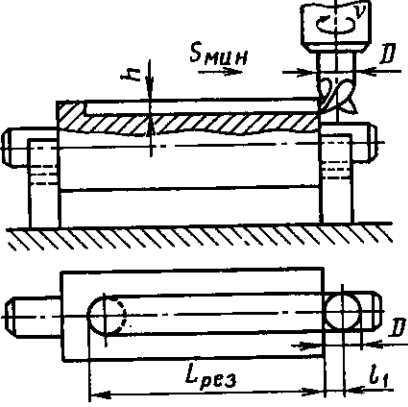
Вид операции	Формула
Фрезерование плоских поверхностей цилиндрическими фрезами 	$T_0 = \frac{L_{рез} + l_1 + l_2}{S_{мин}} i,$ <p>где <math>L_{рез}</math> – длина фрезеруемой поверхности, мм;</p> $l_1 = \sqrt{t(D-t)} + (0,5...3) \text{ мм};$ $l_2 = 2...5 \text{ мм}$

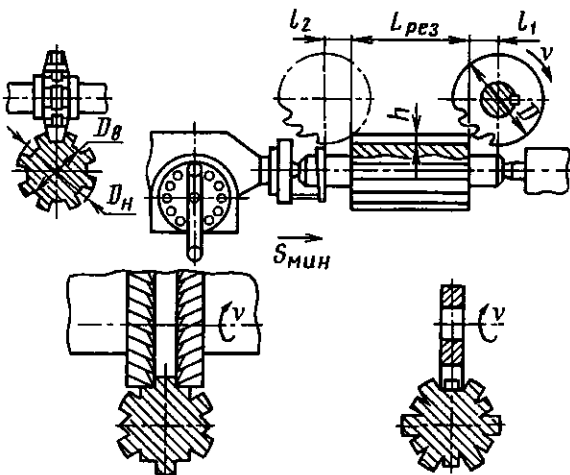
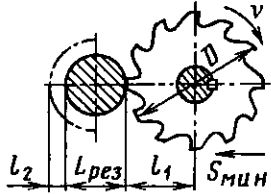
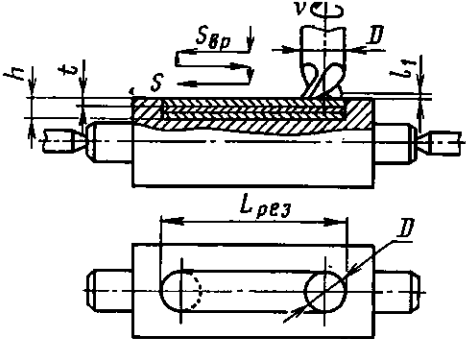


Продолжение табл. 29

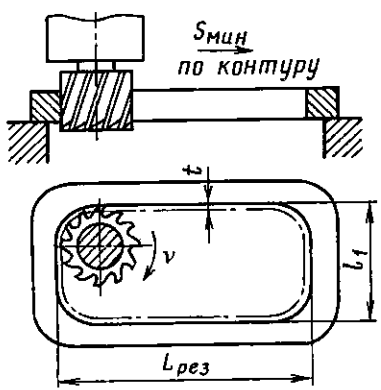
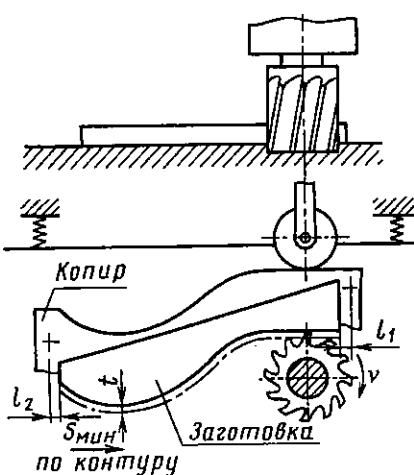
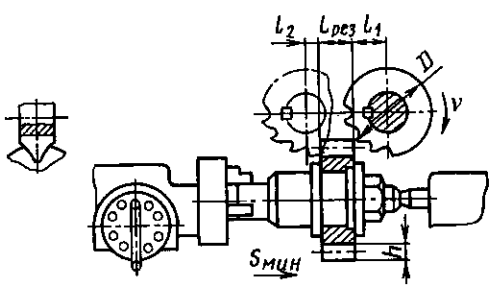
Вид операции	Формула
<p>Фрезерование уступа концевыми фрезами</p> 	$T_0 = \frac{L_{рез} + l_1 + l_2}{S_{мин}} i,$ <p>где <math>L_{рез}</math> – длина фрезеруемой поверхности, мм;</p> $l_1 = \sqrt{t(D-t)} + (0,5...3) \text{ мм};$ $l_2 = 2...5 \text{ мм}$
<p>Фрезерование паза дисковыми фрезами</p> 	$T_0 = \frac{L_{рез} + l_1 + l_2}{S_{мин}} i,$ <p>где <math>L_{рез}</math> – длина фрезеруемой поверхности, мм;</p> $l_1 = \sqrt{t(D-t)} + (0,5...3) \text{ мм};$ $l_2 = 2...5 \text{ мм}$
<p>Фрезерование плоских поверхностей торцовыми и концевыми фрезами; несимметричное фрезерование</p> 	$T_0 = \frac{L_{рез} + l_1 + l_2}{S_{мин}} i,$ <p>где <math>L_{рез}</math> – длина фрезеруемой поверхности, мм;</p> $l_1 = \sqrt{B(D-B)} + (0,5...3) \text{ мм};$ $l_2 = 1...4 \text{ мм}$
<p>Фрезерование плоских поверхностей дисковыми фрезами; несимметричное фрезерование</p> 	$T_0 = \frac{L_{рез} + l_1 + l_2}{S_{мин}} i,$ <p>где <math>L_{рез}</math> – длина фрезеруемой поверхности, мм;</p> $l_1 = \sqrt{B(D-t-2b)} + (0,5...3) \text{ мм};$ $l_2 = 1...4 \text{ мм}$

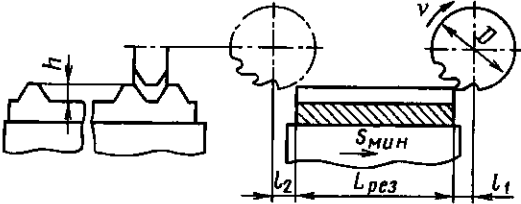
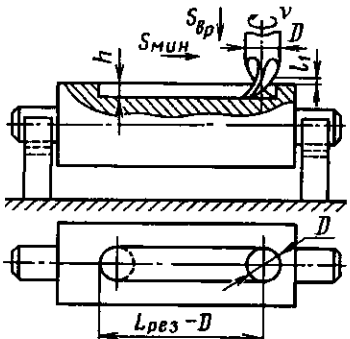
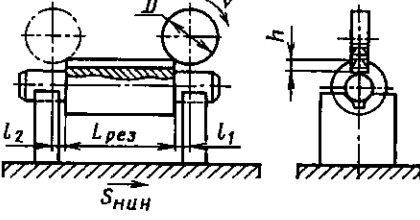
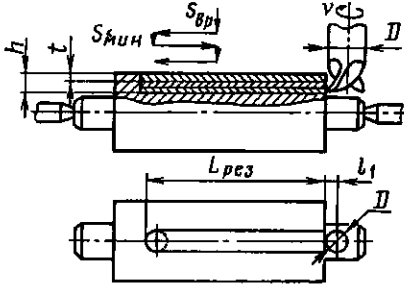
Продолжение табл. 29

Вид операции	Формула
<p data-bbox="199 215 568 243">Фрезерование фасонными фрезами</p> 	$T_0 = \frac{L_{рез} + l_1 + l_2}{S_{мин}} i,$ <p data-bbox="722 305 1092 361">где <math>L_{рез}</math> – длина фрезеруемой поверхности, мм;</p> $l_1 = \sqrt{t(D_{max} - t)} + (0,5...3) \text{ мм};$ $l_2 = 2...5 \text{ мм}$
<p data-bbox="76 546 703 601">Фрезерование шпоночных канавок, открытых с двух сторон, шпоночными фрезами</p> 	$T_0 = \frac{L_{рез} + l_1 + l_2}{S_{мин}} i,$ <p data-bbox="722 635 1092 690">где <math>L_{рез}</math> – длина шпоночной канавки, мм;</p> $l_1 = 0,5 D + (0,5...1) \text{ мм};$ $l_2 = 1...2 \text{ мм}$
<p data-bbox="132 1050 658 1105">Фрезерование шпоночных канавок, закрытых с одной стороны, шпоночными фрезами</p> 	$T_0 = \frac{L_{рез} + l_1 + l_2}{S_{мин}} i,$ <p data-bbox="722 1139 1092 1194">где <math>L_{рез}</math> – длина шпоночной канавки, мм;</p> $l_1 = 0,5...1 \text{ мм};$ $l_2 = 0$

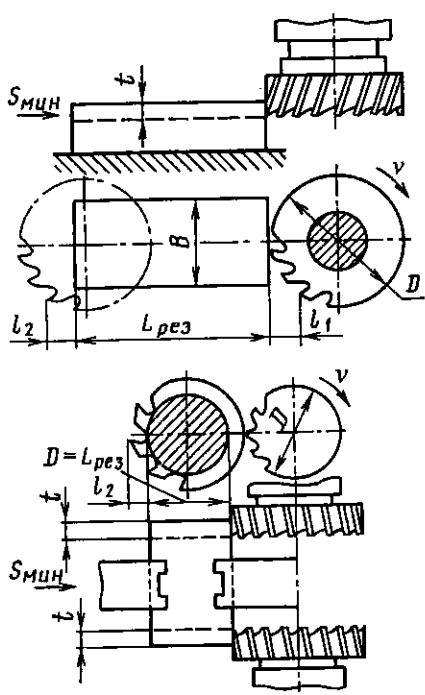
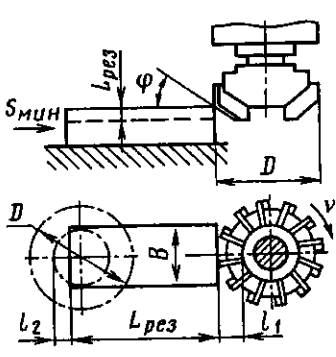
Вид операции	Формула
<p>Нарезание шлицевого соединения на валах дисковой фасонной полипрофильной фрезой и нарезание шлицев дисковыми фрезами</p> 	$T_0 = \frac{L_{рез} + l_1 + l_2}{S_{мин}} z_{ш},$ <p>где <math>L_{рез}</math> – длина нарезаемых шлицев, мм;</p> $l_1 = \sqrt{h(D-h)} + (1...2) \text{ мм};$ $l_2 = 2...5 \text{ мм};$ <p><math>h</math> – высота шлица, нарезаемого в данном переходе, мм (<math>h = D_n - D_b</math>);  <math>z_{ш}</math> – число шлицев, нарезаемых на валу</p>
<p>Фрезерование дисковыми пилами (отрезка)</p> 	$T_0 = \frac{L_{рез} + l_1 + l_2}{S_{мин}},$ <p>где <math>L_{рез}</math> – ширина (диаметр) отрезаемой заготовки;</p> $l_1 = 0,5D + (2...5) \text{ мм};$ $l_2 = 3...10 \text{ мм}$
<p>Фрезерование шпоночных канавок, закрытых с двух сторон, шпоночными фрезами</p> 	$T_0 = \frac{L_{рез} - D + l_1}{S_{мин}} \frac{h}{t},$ <p>где <math>L_{рез}</math> – длина шпоночной канавки, мм;  <math>D</math> – диаметр фрезы, мм;  <math>l_1 = 0,5...1 \text{ мм};</math>  <math>h</math> – глубина шпоночного паза, мм</p>

Продолжение табл. 29

Вид операции	Формула
<p>Фрезерование по контуру</p> 	$T_0 = \frac{L_{рез} + l_1}{S_{мин}} i,$ <p>где <math>L_{рез}</math> – фактическая длина траектории центра фрезы, мм;  <math>l_1 = t + (0,5...2)</math> мм</p>
<p>Фрезерование по копии</p> 	$T_0 = \frac{L_{рез} + l_1 + l_2}{S_{мин}} i,$ <p>где <math>L_{рез}</math> – фактическая длина фрезеруемой поверхности, мм;  <math>l_1 = t + (0,5...2)</math> мм;  <math>l_2 = 1...3</math> мм</p>
<p>Нарезание цилиндрических зубчатых колес модульной фрезой с применением делительной головки</p> 	$T_0 = \frac{(L_{рез} + l_1 + l_2) z}{S_{мин}} i,$ <p>где <math>L_{рез}</math> – длина нарезаемого зуба, мм;  <math>l_1 = \sqrt{h(D-h)} + (1...2)</math> мм;  <math>h</math> – высота зуба, мм; <math>h = 2,25</math> мм при <math>m \leq 1</math> мм; <math>h = 2,2</math> мм при <math>m &gt; 1</math> мм); <math>l_2 = 2...4</math> мм; <math>z</math> – число зубьев нарезаемого колеса</p>

Вид операции	Формула
<p>Нарезание зубьев на рейке</p> 	$T_0 = \frac{(L_{рез} + l_1 + l_2)z}{S_{мин}} i,$ <p>где <math>L_{рез}</math> – длина нарезаемого зуба, мм;</p> $l_1 = \sqrt{h(D-h)} + (1...2) \text{ мм};$ <p><math>h</math> – высота зуба, мм; <math>l_2 = 2...4</math> мм;</p> <p><math>z</math> – число зубьев на рейке</p>
<p>Фрезерование шпоночных канавок, закрытых с двух сторон, шпоночными фрезами за один рабочий ход</p> 	$T_0 = \frac{h + l_1}{S_{вр}} + \frac{L_{рез} - D}{S_{мин}},$ <p>где <math>h</math> – глубина шпоночной канавки, мм;</p> $l_1 = 0,5...1 \text{ мм};$ <p><math>L_{рез}</math> – длина шпоночной канавки, мм</p>
<p>Фрезерование шпоночных канавок, открытых с двух сторон, дисковыми трехсторонними фрезами</p> 	$T_0 = \frac{L_{рез} + l_1 + l_2}{S_{мин}},$ <p>где <math>L_{рез}</math> – длина шпоночной канавки, мм;</p> $l_1 = \sqrt{h(D-h)} + (0,5...2) \text{ мм};$ <p><math>h</math> – глубина шпоночной канавки, мм; <math>l_2 = 1...3</math> мм</p>
<p>Фрезерование шпоночных канавок, закрытых с одной стороны, на станках с маятниковой подачей</p> 	$T_0 = \frac{L_{рез} + l_1}{S_{мин}} \frac{h}{t},$ <p>где <math>L_{рез}</math> – длина шпоночной канавки, мм;</p> $l_1 = 0,5D + (0,5...1) \text{ мм};$ <p><math>h</math> – глубина шпоночной канавки, мм; <math>t</math> – глубина резания за один рабочий ход, мм</p>

Окончание табл. 29

Вид операции	Формула
<p>Фрезерование плоских поверхностей торцовыми и концевыми фрезами (<math>\varphi = 90^\circ</math>); симметричное фрезерование</p> 	$T_o = \frac{L_{рез} + l_1 + l_2}{S_{мин}} i,$ <p>где <math>L_{рез}</math> – длина фрезеруемой поверхности, мм;</p> $l_1 = 0,5 \left( D - \sqrt{D^2 - B^2} \right) +$ <p>+ (0,5...3) мм (1-я схема);  <math>l_1 = 0,5...3</math> мм (2-я и 3-я схемы);</p> <p><math>D</math> – диаметр фрезы, мм;</p> $l_2 = 1...6 \text{ мм}$
<p>Фрезерование плоских поверхностей торцовыми и концевыми фрезами (<math>\varphi &lt; 90^\circ</math>); симметричное фрезерование</p> 	$T_o = \frac{L_{рез} + l_1 + l_2}{S_{мин}} i,$ <p>где <math>L_{рез}</math> – длина фрезеруемой поверхности, мм;</p> $l_1 = 0,5 \left( D - \sqrt{D^2 - B^2} \right) +$ $+ \frac{r}{\text{tg } \varphi} + (0,5...3) \text{ мм}$

Примечание. Буквой  $i$  обозначено число рабочих ходов при обработке.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Косовский В.Л. Справочник фрезеровщика. 4-е изд. М.: Высш. шк.; Изд. центр "Академия", 2001. 400 с.: ил.

2. Металлорежущий инструмент: Каталог. Ч. 2: Фрезы. М.: АО ВНИИТЭМР, Информ. коммер. фирма "Каталог", 1994. 49 с.

3. Режимы резания металлов: Справ. / Под ред. Ю.В. Барановского. 3-е изд. М.: Машиностроение, 1972. 407 с.

4. Слесарь-инструментальщик: Учеб. пособие / Н.П. Малевский, Р.К. Мещеряков, О.Ф. Полтавец. 2-е изд., испр. М.: Высш. шк.

Изд. центр "Академия", 1997. 304 с.: ил.

5. Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев, Г.В. Филипов, А.Н. Шевченко и др.; Под общ. ред. И.А. Ординарцева. Л.: Машиностроение, 1987. 846 с.: ил.

6. Справочник конструктора-инструментальщика / Под общ. ред. В.И. Баранчикова. М.: Машиностроение, 1994. 560 с.: ил. (Б-ка конструктора).

7. Справочник металлиста: В 5 т. Т. 3 / Под ред. А.Н. Малова. М.: Машиностроение, 1977. 748 с.

8. Схиртладзе А.Г., Новиков В.Ю. / Станочные приспособления: Учеб. пособие для вузов. М.: Высш. шк., 2001. 110 с.: ил.

## Глава 10

### СТРОГАНИЕ И ДОЛБЛЕНИЕ

Основные типы стандартизованных строгальных и долбежных резцов и их размеры приведены в табл. 1 и 2, геометрические параметры режущей части строгальных резцов — в табл. 3.

#### 1. Основные размеры стандартизованных строгальных резцов

Резцы	ГОСТ	Типы резцов	Основные размеры, мм				
			$H \times B$	$L$	$l$	$m$	$a$
Проходные изогнутые с пластинами из быстрорежущей стали	18887-73 (в ред. 1981 г.)	—	(20 × 12)...(63 × 40)	190...500	40...125	7...22	—
Чистовые широкие изогнутые с пластинами из быстрорежущей стали	18888-73 (в ред. 1981 г.)	—	(20 × 12)...(63 × 40)	190...500	40...125	—	12...40
Подрезные прямые и изогнутые с пластинами из быстрорежущей стали	18889-73 (в ред. 1981 г.)	1 — прямые	(20 × 12)...(63 × 40)	170...450	—	6...20	—
		2 — изогнутые	(20 × 12)...(63 × 40)	190...500	40...125	6...20	—
Отрезные и прорезные изогнутые с пластинами из быстрорежущей стали	18890-73 (в ред. 1981 г.)	—	(20 × 12)...(50 × 32)	190...400	40...100	—	5...15
Проходные с пластинами из твердого сплава	18891-73 (в ред. 1985 г.)	1 — изогнутые с углом в плане $\varphi = 45^\circ$	(20 × 16)...(63 × 50)	190...500	40...125	9...30	—
		2 — прямые с углом в плане $\varphi = 45^\circ$	(20 × 16)...(63 × 50)	170...450	—	9...30	—
		3 — прямые с углами в плане $\varphi = 20^\circ$ и $\varphi_1 = 10^\circ$	(40 × 32)...(63 × 50)	300...450	—	25...42	—
Чистовые широкие изогнутые с пластинами из твердого сплава	18892-73 (в ред. 1985 г.)	—	(20 × 12)...(63 × 40)	190...500	40...125	—	12...35
Подрезные с пластинами из твердого сплава	18893-73 (в ред. 1985 г.)	1 — изогнутые	(20 × 16)...(63 × 50)	190...500	40...125	8...25	—
		2 — прямые	(20 × 16)...(63 × 50)	170...450	—	8...25	—
Отрезные и прорезные изогнутые с пластинами из твердого сплава	18894-73 (в ред. 1985 г.)	—	(20 × 12)...(63 × 40)	190...500	40...125	—	5...25

Примечание.  $H \times B$  — размеры поперечного сечения державки резца;  $L$  — общая длина резца;  $l$  — длина рабочей части;  $m$  — расстояние от вершины резца до боковой стороны державки резца;  $a$  — ширина режущего лезвия.



## 2. Основные размеры быстрорежущих долбежных резцов различных типов (по ГОСТ 10046-72)

Типы резцов	Резцы долбежные	Основные размеры, мм					
		$H \times B$	$L$	$l$	$m$	$a$	$h_1$
1	Переходные двусторонние с углом $\varphi = 45^\circ$	(20×12)...(50×32)	250...500	35...60	11...24	—	—
2	Прорезные	(16×10)...(63×40)	150...600	40...250	6...13	4...28	—
3	Для шпоночных пазов исполнения:						
	1	$D = 6...12$	90...110	40...50	2...4	3...5	4,5...10
	2	(20×20)...(32×32)	280...400	90...160	5...8	6...14	—
	3	(20×20)...(40×40)	300...450	130...250	—	10...20	—

Условные обозначения:  $H \times B$  – поперечное сечение державки резца;  $L$  – общая длина резца;  $l$  – длина рабочей части;  $m$  – величина превышения режущего лезвия над державкой;  $a$  – ширина режущего лезвия;  $h_1$  – высота державки;  $D$  – диаметр державки резца.

## 3. Геометрические параметры режущей части строгальных резцов, °

Материал обрабатываемой заготовки	Резцы твердосплавные			Резцы из быстрорежущей стали		
	$\alpha$ при обработке		$\gamma$	$\alpha$ при обработке		$\gamma$
	черновой	чистовой		черновой	чистовой	
Сталь и стальные отливки	4	6	8...12	6	12	15...20
Чугун серый	8	10	5...10	8	12	5...10
Медные сплавы	—	—	—	8	12	12

Строгание	$\varphi$	Строгание	$\varphi_1$	Тип резцов	$\lambda$
С большими подачами (4...5 мм/дв. ход и более) при небольших припусках на обработку	20...30	Широкими резцами	0	Широкие прорезные	0...8
При жесткой технологической системе	45	Пазов	1...3	Проходные и подрезные	12...15
При недостаточно жесткой технологической системе	60...70	Чистовое	5...10		
Пазов и ступенчатых поверхностей в упор в условиях жесткой технологической системы	90	Черновое	10...15		

Примечания: 1. Для проходных и подрезных резцов с размерами сечения  $H \times B = (20...63) \cdot (12...40)$  мм  $r = 1,5...2,5$  мм, для резцов с пластинами из твердых сплавов и  $r = 2...5$  мм для резцов из быстрорежущей стали Р6М5 (большие значения  $r$  берутся при обработке жестких деталей и большей площади поперечного сечения резца). Для прорезных и отрезных резцов  $r = 0,2...0,5$  мм.

2. Переходная режущая кромка при вершине резца  $l = 2...4$  мм для проходных и отрезных резцов и  $l = 0,5...1,0$  мм для прорезных и отрезных резцов.

Сборные строгальные резцы применяют при обработке на тяжелых продольно-строгальных станках плоских поверхностей корпусных стальных и чугунных заготовок с большими припусками (заготовки с загрязненной коркой и раковинами в поверхностном слое).

Строгальные прорезные резцы, кроме своего прямого назначения, могут использоваться при подрезке торцов, обработке V-образных направляющих, для полустрогания и чистового строгания поверхностей.

Для обработки чугуниных заготовок средней твердости 200...220 НВ рекомендуются сборные строгальные резцы со следующими геометрическими параметрами режущей части:  $\gamma = +10^\circ$ ;  $\lambda = +6^\circ$ ;  $\alpha = \alpha_1 = 6^\circ$ ;  $f = 1,5...3$  мм;  $\gamma_\phi = 0...5^\circ$ ;  $r = 3...8$  мм.

В том случае, если обрабатывается заготовка из чугуна с отбеленной или сильно загрязненной металлическими включениями коркой, необходимо угол  $\gamma_\phi$  уменьшить до  $-5^\circ$ . При строгании стальных заготовок резцами, оснащенными пластинками из сплавов ВК8В, ВК15, ТГ7К12 и Т5К10В, уменьшают:  $\gamma$  до  $5^\circ$ ,  $f$  до  $0,8...1$  мм и  $\gamma_\phi$  до  $-5^\circ$ .

Рекомендуемые режимы резания при черновой и чистовой обработке плоских поверхностей пазов и отрезке на продольно-строгальных, поперечно-строгальных и долбежных станках приведены в табл. 4 – 11.

При миогорезцовом строгании с делением припуска по глубине резания подачу назначают по максимальной глубине резания на один резец. При миогорезцовом строгании с делением подачи между отдельными резцами подачу на один двойной ход увеличивают в соответствии с числом работающих резцов. Скорость резания при этом назначают в зависимости от подачи на один резец.

#### 4. Подачи и размеры поперечных сечений резцов при черновой обработке плоских поверхностей на продольно-строгальных, поперечно-строгальных и долбежных станках

Глубина резания, мм	Подача, мм/дв. ход, при обработке заготовки		Размеры сечения $H \times B$ , мм
	из стали с $\sigma_s < 800$ МПа	из чугуна и медных сплавов	
<i>Продольно-строгальные станки</i>			
До 8	0,9...3,5	1,6...4,0	(40...63) × (25...40)
Св. 8 до 12	0,5...2,2	1,1...3,0	
» 12 » 20	0,4...1,4	0,8...2,4	50 × 32; 63 × 40
<i>Поперечно-строгальные и долбежные станки</i>			
До 3	1,0...2,0	1,2...2,0	(25...40) × (16...25)
Св. 3 до 5	0,5...1,6	0,9...2,0	
» 5 » 8	0,3...1,2	0,6...1,6	

**Примечание.** Меньшие значения подач соответствуют большей глубине резания, более прочным обрабатываемым материалам и меньшим размерам поперечного сечения резца.

#### 5. Подачи для чистовой обработки плоских поверхностей на продольно-строгальных, поперечно-строгальных и долбежных станках

Условия обработки	Материал обрабатываемой заготовки	Вспомогательный угол в плане $\phi_1$ , °	Глубина резания $t$ , мм	Подача $S$ , мм/дв. ход
<i>Продольно-строгальные станки</i>				
Проходным резцом из быстрорежущей стали или с пластинкой из твердого сплава ВК8; $Ra = 5...10$ мкм	Сталь	$5...10^{*1}$	До 2	1,5...2,5 3,0...4,0 10...20
	Чугун	0	0,15...0,3 0,05...0,1	10...20 12...16

Окончание табл. 5

Условия обработки	Материал обрабатываемой заготовки	Вспомогательный угол в плане $\varphi_1$ , °	Глубина резания $t$ , мм	Подача $S$ , мм/дв. ход
<i>Поперечно-строгальные и долбежные станки</i>				
$Ra = 1$ мкм	Сталь	5...10	-	$\frac{0,7...0,8^{*2}}{1,0...1,2}$
	Чугун и медные сплавы	3...4		$\frac{0,9...1,0^{*2}}{1,2...1,5}$
$Ra = 5$ мкм	Сталь	2...3	-	$\frac{0,25...0,4^{*2}}{0,5...0,9}$
	Чугун и медные сплавы			$\frac{0,35...0,5^{*2}}{0,6...1,0}$

\*<sup>1</sup> Переходное лезвие выполнено с  $\varphi_0 = 0$ .\*<sup>2</sup> В числителе дроби приведены значения подач для реза с радиусом при вершине или переходным лезвием до 1 мм, в знаменателе – для реза с радиусом при вершине или переходным лезвием 1...3 мм.

### 6. Подачи, мм/дв. ход, при отрезке и прорезке пазов на продольно-строгальных, поперечно-строгальных и долбежных станках

Материал обрабатываемой заготовки	Ширина реза, мм			
	До 5	Св. 5 до 10	Св. 10 до 16	Св. 16 до 20
Сталь	$\frac{0,16...0,18}{0,12...0,14}$	$\frac{0,20...0,27}{0,15...0,20}$	$\frac{0,27...0,38}{0,18...0,22}$	$\frac{0,40...0,48}{0,18...0,22}$
	$\frac{0,28...0,35}{0,22...0,27}$	$\frac{0,35...0,50}{0,28...0,32}$	$\frac{0,50...0,70}{0,30...0,36}$	$\frac{0,70...0,85}{0,35...0,40}$
Чугун и медные сплавы	$\frac{0,28...0,35}{0,22...0,27}$	$\frac{0,35...0,50}{0,28...0,32}$	$\frac{0,50...0,70}{0,30...0,36}$	$\frac{0,70...0,85}{0,35...0,40}$

Примечания: 1. В числителе приведены значения подач для работы на продольно-строгальных станках, в знаменателе – для работы на поперечно-строгальных и долбежных.

2. При обработке пазов в отверстиях диаметром до 100 мм на долбежных и поперечно-строгальных станках резцами в оправке табличные значения подач уменьшают: при длине паза до 100 мм – на 20 %, при длине до 200 мм – на 40 % и при длине более 200 мм – на 60 %.

3. При строгании прорезными резцами боковых полок Т-образных пазов рекомендуется уменьшать подачу на 20...25 %.

### 7. Режимы резания при черновом и чистовом строгании резцами с пластинками из твердых сплавов Т5К10В, ТТ7К12 и ВК8В

Материал обрабатываемой заготовки	Глубина резания, мм	Подача, мм/дв. ход	Скорость резания, м/мин			
Конструкционные углеродистые и легированные стали с $\sigma_b$ , МПа:			43...26			
			550	$\frac{3...20}{1...2}$	$\frac{1,0...4,0}{0,2...1,4}$	48...31
			650			$\frac{36...22}{40...26}$

Окончание табл. 7

Материал обрабатываемой заготовки	Глубина резания, мм	Подача, мм/дв. ход	Скорость резания, м/мин
Конструкционные углеродистые и легированные стали с $\sigma_b$ , МПа:			31...19
	750	$\frac{3...20}{1...2}$	$\frac{1,0...4,0}{0,2...1,4}$
	850		$\frac{27...17}{30...20}$
Серый чугун с НВ:			50...18
	170		44...26
	190	$\frac{3...20}{1...2}$	$\frac{1,0...4,0}{0,2...1,4}$
	210		37...14
	230		$\frac{32...23}{32...12}$
Бронза	$\frac{3...20}{1...2}$	$\frac{1,0...4,0}{0,2...1,4}$	$\frac{120...50}{200...75}$

Примечание. В числителе приведены режимы резания при черновой обработке, в знаменателе – при чистовой.

**8. Скорость резания, м/мин, при обработке плоских поверхностей заготовок из стали (конструкционной углеродистой, легированной, жаропрочной) на продольно-строгальных станках резцами из быстрорежущей стали**

Предел прочности при растяжении $\sigma_b$ , МПа	Подача, мм/дв. ход	Глубина резания, мм, до			
		0,9	2,8	8	23
До 700	До 0,4	57...30	43...23	39...20	34...17
	Св. 0,4 до 2,0	45...13	34...11	30...9	25...10
	» 2,0 » 4,0	20...9	15...8	13...8	–
Св. 700	До 0,4	31...16	23...12	21...10	18...9
	Св. 0,4 до 2,0	24...7	18...6	16...5	–
	» 2,0 » 4,0	11...5	8...4	–	–

Примечания: 1. Скорости резания, приведенные в таблице, рекомендуются при обработке проката или поковок без корки с подачами, не превышающими глубину резания ( $t > S$ ) резцами с параметрами:  $\varphi = 45^\circ$  и  $\varphi_1 = 5...10^\circ$ ; радиус или площадка при вершине реза  $r \geq 3$  мм и периодом стойкости  $T = 120$  мин.

2. Скорости резания для резцов с углами  $\varphi = 60, 75$  и  $90^\circ$  рекомендуется уменьшать соответственно на 15, 25, 35 %, а для  $\varphi = 30^\circ$  – увеличивать на 25 %.

3. Табличные значения скоростей резания уменьшают на 10 % при обработке отливок без корки и проката с коркой; при наличии корки у отливок или поковок уменьшают эти значения на 15...25 %; при обработке отливок с коркой, загрязненной неметаллическими включениями, и после автогенной резки скорости резания уменьшают на 25...35 %.

4. При обработке на поперечно-строгальных и долбежных станках с глубиной резания до 8 мм табличные значения скоростей резания уменьшают соответственно на 20 и 30 %.

5. Для резцов с периодом стойкости  $T = 60, 180$  и  $240$  мин при использовании их на продольно-строгальных, поперечно-строгальных и долбежных станках табличные значения скоростей резания необходимо умножить соответственно на коэффициенты 1,1; 0,95; 0,9.

### 9. Скорость резания, м/мин, при обработке плоских поверхностей заготовок из серого чугуна на продольно-строгальных станках

#### Резцы из быстрорежущей стали

Твердость чугуна НВ	Подача, мм/дв. ход	Глубина резания, мм, до			
		1,1	2,7	6,7	40
До 180	До 0,28	45	45	39	30
	Св. 0,28 до 2,1	45...30	45...20	39...18	30...14
	» 2,1 » 5,6	—	20...18	20...12	16...9
Св. 180	До 0,28	45...30	40...26	35...23	26...18 26...8
	Св. 0,28 до 2,1	45...18	40...12	35...10 16...7	12...6
	» 2,1 » 5,6	—	18...10		

#### Резцы оснащены пластинками из твердого сплава ВК8

Твердость чугуна НВ	Подача, мм/дв. ход	Глубина резания, мм, до			
		0,8	1,8	4	20
До 180	До 0,56	70	70	70	70...64
	Св. 0,56 до 1,8	70	70...57	70...50	70...40
	» 1,8 » 6	—	—	57...38	45...25
Св. 180	До 0,42	70	70...64	70...57	64...45
	Св. 0,42 до 1,8	70...57	70...36	70...32	64...25
	» 1,8 » 6	—	—	45...23	36...18

Примечание. См. пп. 1, 2, 4 и 5 примечаний к табл. 8.

### 10. Скорости резания, м/мин, при обработке пазов и резке на продольно-строгальных станках

Материал		Подача мм/дв. ход			
обрабатываемой заготовки	рабочей части резца	До 0,10	Св. 0,10 до 0,40	Св. 0,40 до 0,80	Св. 0,80 до 1,50
Конструкционные углеродистые, легированные и жаропрочные стали с $\sigma_b$ , МПа: до 700 св. 700	Быстрорежущая сталь	34...22	22...9	9...6	—
		22...14	14...6	6...4	—
Серый чугун с НВ: до 200 св. 200	ВК8	—	29...22	22...17	17...13
		—	19...14	14...11	11...8

Примечания: 1. Большие значения скоростей резания в диапазонах соответствуют меньшим значениям подачи и менее прочным обрабатываемым материалам.

2. Приведенные в таблице скорости резания справедливы для стальных заготовок (прокат и поковок) при периоде стойкости резцов  $T = 120$  мин; для литых стальных заготовок значения скоростей резания уменьшают на 10 %.

3. При обработке пазов и резке на поперечно-строгальных станках значения скоростей уменьшают на 20 %; при обработке пазов на долбежных станках резцами из быстрорежущей стали — на 40 %.

4. Для резцов с периодами стойкости  $T = 60, 180$  и  $240$  мин (материал резцов — быстрорежущая сталь) скорости резания при обработке стальных заготовок на продольно-строгальных и долбежных станках умножают соответственно на 1,19; 0,9 и 0,84 и при обработке чугуна на продольно- и поперечно-строгальных станках — на коэффициенты 1,15; 0,92 и 0,87 для резцов из твердых сплавов и на 1,11; 0,94 и 0,9 для резцов из быстрорежущей стали.

**11. Режимы резания при строгании стальных или чугунных заготовок  
на продольно-строгальных станках сборными проходными резцами**

Резцы проходные	Заготовки из стали ( $\sigma_s \leq 750$ МПа)			Заготовки из чугуна (HB < 90)		
	$t$ , мм	$S$ , мм/дв. ход	$v$ , м/мин	$t$ , мм	$S$ , мм/дв. ход	$v$ , м/мин
$C \varphi = 45^\circ$ при $H^*$ , мм: 63 70	До 25 » 35	1,2...1,6 1,6...2,4	25...30 20...25	До 25 » 35	1,6...2,0 1,8...2,4	20...25 16...25
$C \varphi = 30^\circ$ при $H^*$ , мм: 63 70	15...20 20...25	1,6...2,4 2,0...3,0	20...25 16...20	15...20 20...25	1,6...2,2 2,2...2,6	16...25

\*  $H$  – высотв поперечного сечения державки резца.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Общемашиностроительные** нормативы режимов резания: Справ.: В 2 т. Т. 2 / А.Д. Локтев, И.Ф. Гущин, Б.Н. Балашов и др. М.: Машиностроение, 1991. 304 с.: ил.

2. **Справочник** техиолога-машиностроителя: В 2 т. Т. 2 / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Сулова, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. 5-е изд., испр. М.: Машиностроение, 2003. 944 с.: ил.

## Глава 11

### РЕЗЬБООБРАЗОВАНИЕ

Процессы получения резьб занимают значительное место в машиностроении. Для достижения требуемой точности и производительности, допустимой шероховатости обработанной поверхности, с учетом состояния исходной заготовки и конфигурации детали, необходимо выбрать способ изготовления резьбы и тип используемого инструмента (табл. 1).

Производительность резьбообразования и качество резьбы зависят от инструменталь-

ного материала. Для изготовления режущей части резьбообразующих инструментов используют углеродистую и легированную инструментальные стали, быстрорежущие стали, спеченные твердые сплавы (табл. 2). При выборе материала для рабочей части инструмента необходимо учитывать обрабатываемый материал, режимы резания, технологические критерии, конструктивные требования и ограничения по качеству изделия.

1. Параметры резьбы в зависимости от способа резьбообразования

Обработка	Диаметр, мм	Шаг, мм	Длина, мм, не более	Твердость заготовки HRC, не более	Степень точности	Сбег, не менее
<i>Наружная резьба</i>						
Накатывание:						
планетарное	1,6...27,0	0,40...2,5	100	34	2-6	1,5P
плоскими плашками	2,0...70,0	0,25...3,0	250	34	6-8	1,5P
роликками	2,0...250,0	0,35...20,0	8000	36	2-6	1P
аксиальными головками	1,4...150,0	0,35...8,0	6000	34	4-7	1,5P
тангенциальными головками	3,0...52,0	0,50...2,5	20	26	4-7	0,5P
Нарезание:						
головками	1,7...400,0	0,35...6,0	6000	37	5-8	1,5P
точением	2,0...1000,0	0,35...100,0	6000	63	6-8	0,5P
шлифованием	0,5...400,0	0,04...100,0	6000	71	Св. 2	0,5P
фрезерованием	10,0...400,0	0,50...100,0	2000	37	6-8	0
вихревое	20,0...1000,0	2,50...100,0	2000	46	7-9	P
плашками	0,2...72,0	0,08...3,0	1000	34	5-8	1,5P
<i>Внутренняя резьба</i>						
Нарезание:						
метчиками	0,2...300,0	0,075...10,0	300	46	2-7	P
головками	36,0...300,0	0,75...8,0	200	46	5-8	2P
точением	10,0...1000	0,50...100,0	500	63	4-8	0,5P
шлифованием	20,0...400,0	0,50...100,0	500	71	Св. 2	0,5P
фрезерованием	20,0...300,0	0,50...100,0	100	37	6-8	0
вихревое	30,0...350,0	3,0...50,0	300	46	7-9	P
протягиванием	10,0...150,0	2,0...10,0	200	34	6; 7	Сквозная резьба
Накатывание:						
метчиками	1,0...52,0	0,25...2,50	200	26	2-6	3P
головками	50,0...300,0	0,50...4,0	500	26	4-6	3P

2. Стали и сплавы, рекомендуемые для изготовления режущей части  
резьбообразующих инструментов

№ группы обрабатываемости	Материал заготовки и его характеристики	Резцы	Метчики	Плашки	Головки	Фрезы гребенчатые	Инструмент накатывания для резьбы		
							Ролики, сегменты, плоские плашки	Метчики-раскатники	
I	Магниево-сплавы $\sigma_B = 165 \dots 245$ МПа								
II	Алюминиевые сплавы $\sigma_B = 137 \dots 400$ МПа, 45...95 НВ	P6M5; BK60M; BK6	P6M5; BK10M	P6M5; 10P6M3	P6M5; 10P6M5	P6M5; T15K6; BK6M	X12M; P6M5	X12M; P6M5	
III	Медь и медные сплавы $\sigma_B = 180 \dots 980$ МПа, 60...400 НВ								
IV	Чугун $\sigma_B > 100$ МПа, 100...260 НВ	P6M5; BK3M; BK60M	P6M5; BK8; BK10M	10P6M5; P6M5	P6M5; P6M5K5	P6M5; BK6M	-	-	
V	Углеродистые стали $\sigma_B = 295 \dots 1080$ МПа, 77...317 НВ	P6M5; T15K6	P6M5; У12А; Т5К10	9XC; P6M5	P6M5	P6M5; Т5К10	X12M		
VI	Легированные стали $\sigma_B = 395 \dots 1270$ МПа, 116...345 НВ	10P6M5; T15K6; P6M5K5; T14K8	10P6M5; BK10M	P6M5	P6M5	P6M5; T15K6	X12M; P6M5		
VII	Теплоустойчивые стали $\sigma_B = 600 \dots 1300$ МПа, 174...285 НВ	P6M5K5; BK6M	P6M5; BK6M		10P6M5	P6M5K5; BK10M	X12M; P6M5		
VIII	Коррозионно-стойкие стали $\sigma_B = 700 \dots 2000$ МПа, 212...560 НВ	P6M5K5; BK60M	P6M5K5; BK10M	P6M5K5	P6M5K5	P6M5K5; BK60M	X12M; P6M5; P6M5K5	X12M; P6M5K5	



№ группы обрабатываемости	Материал заготовки и его характеристики	Резцы	Метчики	Плашки	Головки	Фрезы гребенчатые	Инструмент накатывания для резьб	
							Ролики, сегменты, плоские плашки	Метчики-раскатники
IX	Жаропрочные деформируемые стали $\sigma_s = 720 \dots 1225$ МПа, 212...352 НВ		P12Ф3; BK10M	P6M5K5	P6M5K5	P6M5K5; BK10M		X12M; P6M5K5
			P9M14K8; BK10M	10P6M5				
X	Коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные деформируемые сплавы $\sigma_s = 720 \dots 1225$ МПа, 212...352 НВ	P6M5K5; BK60M		P6M5		P6M5K5; BK8		X12M; P6M5
XI	Жаропрочные и жаростойкие деформируемые сплавы на никелевой основе $\sigma_s = 540 \dots 1300$ МПа, 149...363 НВ		P6M5K5; BK10M	P6M5K5		P6M5K5; BK60M		X12M; P6M5
XII	Жаропрочные легкие стали на никелевой основе $\sigma_s = 666 \dots 1300$ МПа, 217...375 НВ	P6M5K5; BK6						X12M; P6M5
XIII	Сплавы на титановой основе $\sigma_s = 450 \dots 1350$ МПа, 126...375 НВ							
XIV	Закаленные высокопрочные стали $\sigma_s = 1600 \dots 2000$ МПа, 450...500 НВ	ВОК-60, Композит 10						

Примечание. Марки материалов приведены в порядке предпочтительности их применения.

## НАРЕЗАНИЕ РЕЗЬБЫ РЕЗЦАМИ

Резцы для нарезания резьбы представляют собой резьбоарезной однолезвийный фасонный режущий инструмент, все точки режущей кромки которого при обработке образуют профиль резьбы.

Резцы предназначаются для нарезания наружных и внутренних резьб различного профиля. Основные преимущества резцов по отношению к другим резьбоарезным инструментам: простота конструкции и технологии их изготовления; универсальность — возможность одним и тем же резцом нарезать резьбы различного диаметра и шага; высокая точность взаимного расположения оси обработанной

резьбы по отношению к цилиндрическим и торцовым поверхностям заготовки; возможность обработки резьб с переменным шагом и на конической поверхности.

Наружную и внутреннюю резьбы нарезают резцами на универсальных токарно-винторезных станках с ручным и числовым программным управлением (ЧПУ), револьверных автоматах и специальных станках.

*Типы резцов.* Выбор типа резца для заданного технологического процесса зависит от многих факторов: размеров профиля резьбы; диаметра и шага; вида резьбы (наружная или внутренняя); материала режущей части резца; серийности производства деталей с резьбой; типа станка к его состоянию (рис. 1).

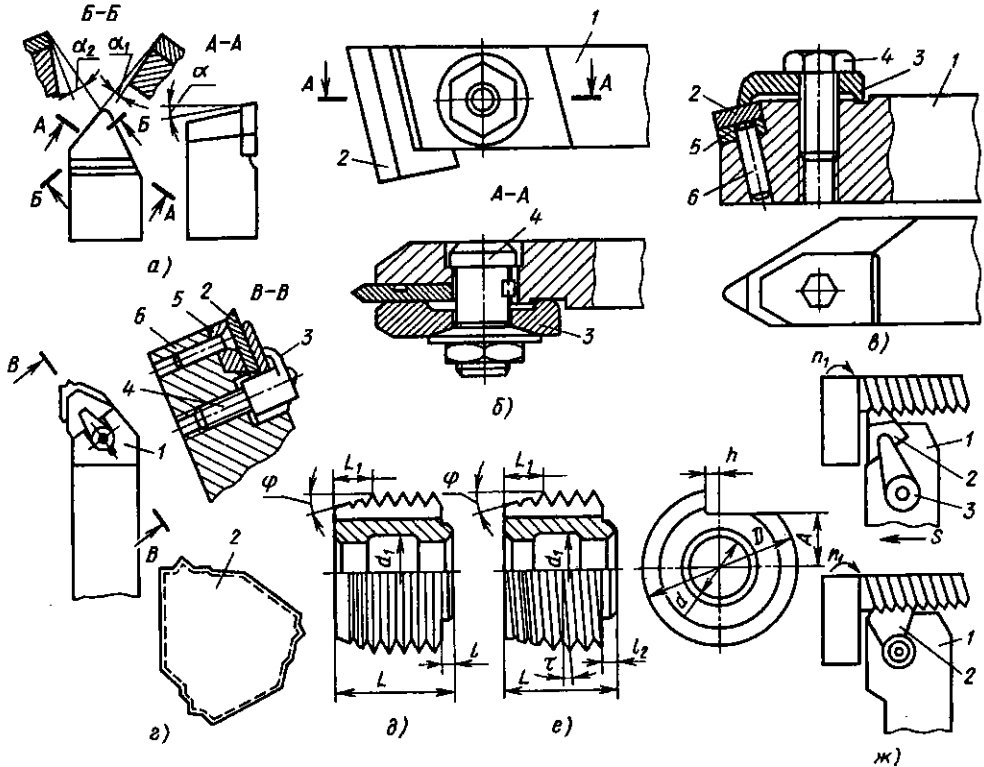


Рис. 1. Резьбоарезные резцы:

- а — составные с напаянной пластинкой твердого сплава; б — сборные с призматической вставкой из быстрорежущей стали; в — сборные с трехгранной неперетачиваемой твердосплавной пластинкой; г — сборные, с пластинкой твердого сплава, выполненной с задним углом; д — круглый с кольцевой нарезкой; е — круглый с винтовой нарезкой; ж — сборный с многопрофильными вставками;  
1 — корпус резца; 2 — вставка; 3 — прихват; 4 — болт; 5 — подкладка; 6 — штифт

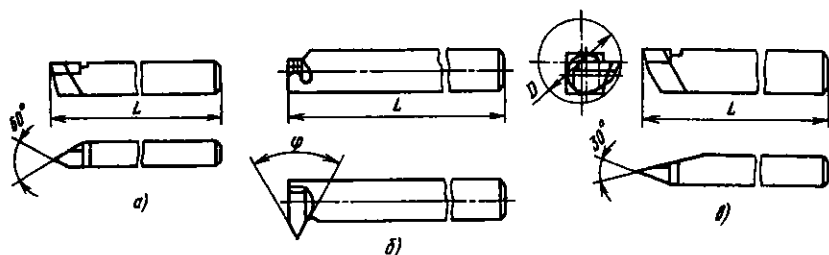


Рис. 2. Виды резцов во типу нарезаемой резьбы

Резцы подразделяются на типы:

а) по конструкции – стержневые (рис. 1, а, б, в, г); призматические (рис. 1, б); круглые с кольцевой нарезкой (рис. 1, д); с винтовой нарезкой (рис. 1, е);

б) по форме режущей кромки – однопрофильные (рис. 1, а, б, в, г), многопрофильные (рис. 1, д, е, ж);

в) по исполнению режущего элемента – цельные, составные (рис. 1, а), сборные (рис. 1, б, в, г);

г) по виду работы – черновые, чистовые;

д) по типу нарезаемой резьбы: резцы для нарезания наружной метрической резьбы тип 1 (рис. 2, а); резцы для нарезания внутренней метрической резьбы ( $\epsilon = 60^\circ$ ) тип 2 и трапецидальной ( $\epsilon = 30^\circ$ ) тип 4 (рис. 2, б); резцы для нарезания наружной трапецидальной резьбы тип 3 (рис. 2, в). В табл. 3

приведены габаритные размеры державок. Размеры гнезд под пластину твердого сплава (рис. 3 и 4) представлены в табл. 4 и 5; в табл. 6 даны основные размеры резцов многопрофильных призматических (гребенки) для нарезания метрической, трубной и дюймовой резьб (рис. 5).

Нарезание резьб мелкого профиля осуществляется за один проход. В этом случае глубина резания  $t_p$  равна высоте профиля резьбы  $h_3$  (рис. 6, а). При нарезании многопрофильным резцом (гребенкой) глубина резания для каждого элементарного резца уменьшается в несколько раз (рис. 6, д):

$$t_p = [h_3 P / (l_1 + P)] \cos \varphi,$$

где  $l_1$  – длина режущей части;  $P$  – шаг резьбы;  $\varphi$  – угол режущей части.

### 3. Габаритные размеры державок резьбовых резцов, мм (см. рис. 2)

Сечение резца (высота × ширина)	Тип 1		Тип 2			Тип 3		Тип 4			Обозначение пластины по ГОСТ 25398-90
	Длина резца $L$	Шаг резьбы $P$	Длина резца $L$	Шаг резьбы $P$	Диаметр наименьшего отверстия $D$	Длина резца $L$	Шаг резьбы $P$	Длина резца $L$	Шаг резьбы $P$	Диаметр наименьшего отверстия $D$	
10 × 10	–	–	120	0,75...2,5	18	–	–	120	2...4	16	11150
12 × 12	–	–	140	1...3	24	–	–	140	2...8	22	11150
16 × 10	100	0,5...2,5	–	–	–	–	–	–	–	–	11130
16 × 16	–	–	170	1,5...4	30	–	–	170	3...10	30	11190
20 × 12	120	0,8...3,0	–	–	–	120	2...5	–	–	–	11190
20 × 20	–	–	200	2...5	42	–	–	200	3...12	44	11210
25 × 16	140	1,25...5,0	–	–	–	140	6...10	–	–	–	11210
25 × 25	–	–	240	3...6	52	–	–	240	4...16	62	11230
32 × 20	170	2,0...6,0	–	–	–	170	12...16	–	–	–	11230
40 × 25	–	–	–	–	–	200	20...24	–	–	–	11230

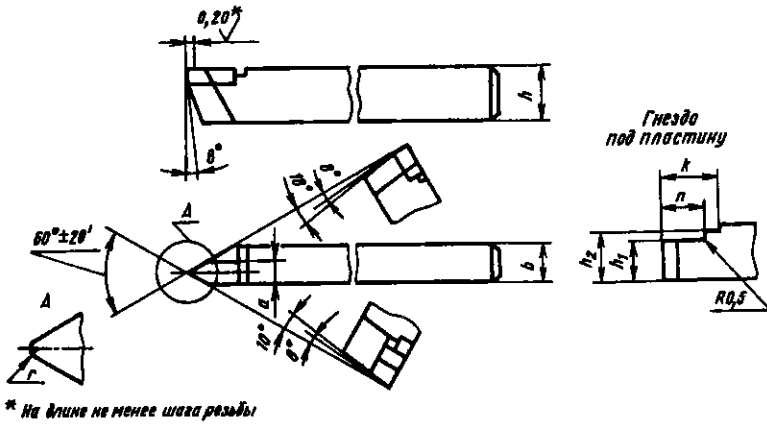


Рис. 3. Размеры гнезда под пластину резцовых резцов для наружных резьб

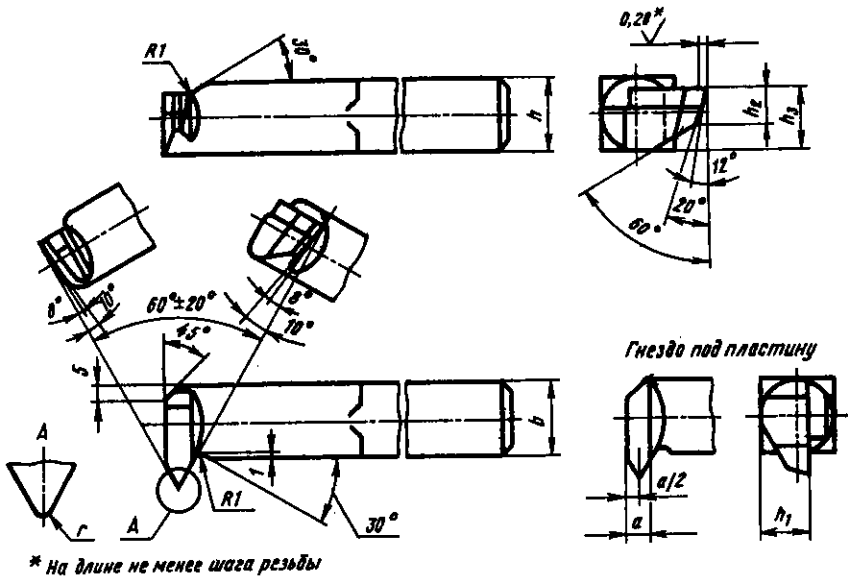


Рис. 4. Размеры гнезда под пластину резцовых резцов для внутренних резьб

## 4. Размеры гнезд под пластину твердого сплава, мм (см. рис. 3)

Сечение резца $h \times b$	$a$	$n$	$h_1$	$h_2$	$K$	Обозначение пластин по ГОСТ 25398-90
16×10	3	9,3	13,5	15,5	13	11130
20×12	6	15,0	16,0	19,0	19	11190
25×16	8	18,6	20,0	22,5	24	11210
32×20	10	23,3	26,0	29,0	29	11230

Окончание табл. 4

Шаг резьбы $S$	$r_{\max}$	$r_{\min}$	Шаг резьбы $S$	$r_{\max}$	$r_{\min}$
0,50	0,072	0,047	2,50	0,360	0,317
0,75	0,108	0,079	3,00	0,432	0,389
0,80	0,115	0,085	3,50	0,504	0,459
1,00	0,144	0,113	4,00	0,576	0,529
1,25	0,180	0,146	4,50	0,648	0,601
1,50	0,216	0,179	5,00	0,720	0,670
1,75	0,252	0,213	5,50	0,792	0,742
2,00	0,288	0,249	6,00	0,870	0,812

## 5. Размеры гнезд под пластиину твердого сплава, мм (см. рис. 4)

Сечение резца $h \times b$	$a$	$h_1$	$h_2$	$h_3$	Обозначение пластин по ГОСТ 25398-90
10×10	4	5,5	5,0	8,5	11150
12×12		7,5	6,0	10,5	
16×16	6	9,5	9,0	13,5	11190
20×20	8	12,5	11,5	17,5	11210
25×25	10	16,0	15,0	22,0	11230

## 6. Основные размеры многопрофильного резца, мм (см. рис. 5)

Резьба			$l$	$l_1, \pm 0,1$	$c$	$b_1$	$R$	Ролик $d$
метрическая	трубная	дюймовая						
шаг $P$	число шагов на длине 25,4 мм	число ниток на 1"						
1...2	19; 14	20...10	50	14,2	2,8	12,5	0,3	3,0
	19; 14; 11		75					
1...4,5		—	9...6	100	17,7	3,0	17,0	2,5
	75							
2,5...4	—	6...4	100	30,6	5,0	29,0	0,5	4,5
4...6								

Примечания: 1. Для нарезания резьбы на деталях с ограниченным сбегом угол  $\phi = 25^\circ$ , для нарезания резьбы на деталях без ограниченного сбега  $\phi = 11^\circ$ .

2. Длина режущей части  $l_2 = (h_{1\text{наиб}} + h_{2\text{наим}} + 1) \operatorname{ctg} \phi$ , где  $h_1$  – высота головки профиля резьбы, мм; – высота ножки профиля резьбы (ГОСТ 2287-88).

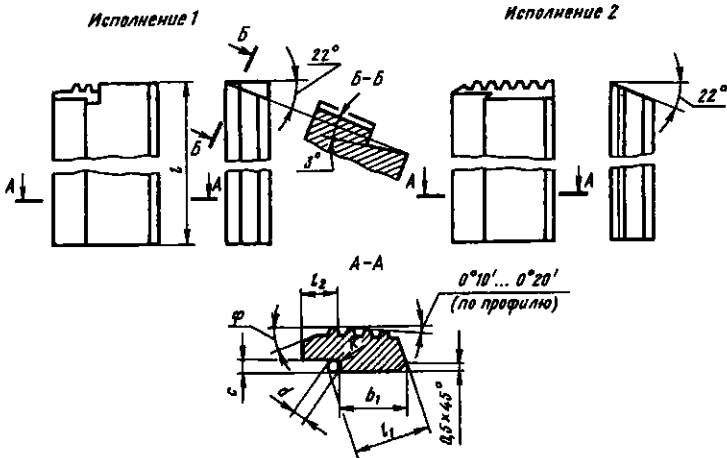


Рис. 5. Элементы конструкции и геометрические параметры гребенок

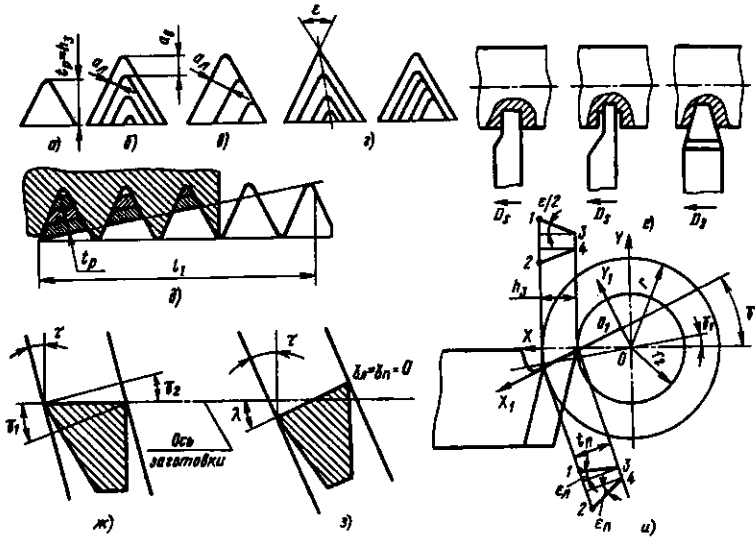


Рис. 6. Схема резания:

*a* – при обработке однопрофильными резцами; *б* – при обработке многопрофильными резцами с радиальным врезанием; *в* – при обработке многопроходными резцами с боковым врезанием; *г* – комбинированная; *д* – при обработке многопрофильными резцами; *е* – при обработке трапецидальной и прямоугольной резьбы несколькими резцами; *ж*, *з* – геометрия резцов; *и* – зависимость между размерами резца и детали

Многопроходное нарезание резьбы осуществляется по схеме радиального (рис. 6, *б*) или бокового врезания (рис. 6, *в*). При боковом врезании одна из режущих кромок работает с уменьшенной нагрузкой, что облегчает процесс резания, но при этом ухудшается качество обрабатываемой поверхности. Этот недостаток можно устранить, применяя комбинированную схему резания (рис. 6, *г*).

Толщина слоя, срезаемого вершиной, боковой левой и боковой правой режущими кромками резца (рис. 6, *а*), равна: при радиальном врезании

$$a_b = t_p; \quad a_n = a_n = t_p \sin \frac{\epsilon}{2};$$

при боковом врезании

$$a_b = t_p; \quad a_n = 2t_p \sin \frac{\epsilon}{2}; \quad a_n = 0.$$

## 7. Число проходов при нарезании метрической резьбы по профильной схеме

Материал заготовки	Шаг $P$ , мм					
	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0
Сталь:						
углеродистая с $\sigma_s < 700$ МПа		<u>2; 3</u> 1; 2	<u>2; 3</u> 1; 2	<u>3; 4</u> 2; 3	<u>3; 4</u> 2-4	<u>4; 5</u> 2; 3
легированная с $\sigma_s > 700$ МПа	<u>2; 3</u> 1; 2	<u>3; 4</u> 1; 2	<u>3; 4</u> 1; 2	<u>4; 5</u> 2; 3	<u>4; 5</u> 2; 3	<u>5-7</u> 3; 4
Высокопрочные и коррозионно-стойкие стали		<u>2; 3</u> 1; 2	<u>3; 4</u> 1; 2	<u>3; 4</u> 2; 3	<u>4; 5</u> 2; 3	<u>4; 5</u> 2; 3
Жаропрочные стали	<u>3; 4</u> 1; 2	<u>3; 4</u> 1; 2	<u>3-5</u> 1; 2	<u>4; 5</u> 2; 3	<u>5; 6</u> 2; 3	<u>6; 7</u> 2; 3
Титановые сплавы	<u>2; 3</u> 1; 2	<u>2; 3</u> 1; 2	<u>3; 4</u> 1; 2	<u>3; 4</u> 2; 3	<u>4; 5</u> 2; 3	<u>4; 5</u> 2; 3
Бронза, латунь	<u>3; 4</u> 2; 3	<u>3; 4</u> 2; 3	<u>3; 4</u> 2; 3	<u>4; 5</u> 2; 3	<u>5; 6</u> 3; 4	<u>5; 6</u> 3; 4

Примечания: 1. В таблице указано число проходов при нарезании наружных резьб, при нарезании внутренних резьб число проходов следует увеличить на 20...25%.

2. Меньшие значения следует применять для резцов, оснащенных твердым сплавом, а большие — для резцов из быстрорежущей стали.

3. При нарезании точной резьбы число проходов следует увеличить на 2-3 зачистных прохода (без подачи) при малой скорости резания.

4. При нарезании многозаходных резьб число проходов следует увеличить на один-два прохода для каждого захода.

5. В числителе указано число черновых проходов, а в знаменателе — число чистовых проходов.

6. Радиальное перемещение резбового резца при черновых проходах 0,4...0,7 мм; при чистовых проходах 0,25...0,4 мм; осевое перемещение резца при черновых проходах 0,1...0,15 мм.

При нарезании резьб глубокого профиля (трапецидальной, прямоугольной и т.п.) применяют последовательное многопроходное точение несколькими резцами различных профилей, причем последний профиль нарезаемой резьбы имеет последний чистовой резец (рис. 6, е).

Число проходов при нарезании метрической резьбы по профильной схеме приведено в табл. 7, а число проходов при нарезании трапецидальной резьбы по профильной схеме — в табл. 8.

**Геометрия резбовых резцов.** При малом угле подъема (рис. 6, ж) резец устанавливают таким образом, чтобы ось симметрии профиля резца была расположена перпендикулярно к оси заготовки. Задние углы на боковых режущих кромках выполняются одинаковыми для резцов как из быстрорежущей стали, так и из твердых сплавов: 4...6° для предварительного нарезания и 8...10° для окончательного нарезания. Задний угол на вершине принимается равным 15...20°.

Если угол подъема нарезаемой резьбы  $\tau \geq 3...4^\circ$ , то резец наклоняют к оси заготовки под углом  $\lambda = \tau$  и передние углы на боковых режущих кромках  $\gamma_d$  и  $\gamma_n$  принимаются одинаковыми (рис. 6, з), в противном случае  $\gamma_d < 0$  и  $\gamma_n > 0$  — для правого направления резьбы.

8. Число проходов при нарезании трапецидальной резьбы по профильной схеме<sup>1</sup>

Материал заготовки	Шаг $P$ , мм		
	4	6	8
Углеродистая сталь	<u>8-10</u> 5-7	<u>10-12</u> 6-9	<u>12-14</u> 7-9
Легированная сталь	<u>10-12</u> 6-8	<u>12-14</u> 8-10	<u>14-17</u> 8-10
Бронза, латунь	<u>6-8</u> 5; 6	<u>7-9</u> 5-7	<u>8-11</u> 6-8

<sup>1</sup> См. примечания к табл. 7.

Геометрические параметры по левой и правой сторонам режущей кромки изменяются вследствие изменения угла подъема винтовой линии:

$$\operatorname{tg} \tau_i = \pi d_i / P,$$

где  $\tau_i$  – угол подъема винтовой линии на диаметре  $d_i$ .

В первом приближении передние и задние углы для различных точек профиля определяются по формулам

$$\gamma_i = \gamma_y \mp (\lambda - \tau_i),$$

$$\alpha_i = \alpha_y \pm (\lambda - \tau_i),$$

где верхний знак – для левой стороны профиля, а нижний – для правой при правом направлении резьбы;  $\gamma_i$ ,  $\alpha_i$  – передний и задний углы в сечении по цилиндру;  $\gamma_y$ ,  $\alpha_y$  – передний и задний углы в расчетном сечении, по которому устанавливается угол наклона резца  $\lambda$ .

Минимальное значение заднего угла  $\alpha_{i\min} \geq 2 \dots 3^\circ$ . Если это условие не выполняется, изменится угол  $\lambda$  или  $\alpha_y$ . В большинстве случаев угол  $\lambda = \tau_{cp}$ , где  $\tau_{cp}$  – угол подъема винтовой линии, лежащей на цилиндре, рассекающем профиль резьбы по высоте на две равные части.

*Профиль резца.* Профиль резьбового резца по передней поверхности совпадает с профилем в осевом сечении заготовки при  $\gamma = 0$  и  $\lambda = 0$ . Если  $\gamma \neq 0$  и  $\lambda \neq 0$ , то профиль резца отличается от профиля резьбы.

Скорости резания при нарезании резьбы резцами приведены в табл. 9.

При нарезании резьбы применяются смазочно-охлаждающие жидкости.

Материал заготовки	СОЖ
Углеродистые конструкционные стали .....	3%-ный Укринол-1; ОСМ-3; МР-1У
Легированные стали .....	ОСИ-3; МР-1У
Инструментальные и быстрорежущие стали ....	МР-4, МР-3; Укринол-14
Коррозионно-стойкие стали	МР-1У; МР-3
Высокопрочные и жаропрочные стали .....	МР-1У; МР-3
Титановые сплавы .....	МР-4
Алюминиевые сплавы ....	ОСМ-3, ОСМ-5
Цветные металлы и сплавы	МР-2У; МР-5У
Чугуны .....	ОСМ-3; ОСМ-5

### 9. Скорость резания при нарезании резьбы резцами, м/мин

Обрабатываемый материал		Резьботочение резцами				
Вид	Твердость НВ	быстрорежущими Р6М5	твердосплавными			
			Р10	Р30	К10	К20
Конструкционные стали	До 230	15...20	120...170	80...100	–	–
	230...270	10...15	100...140	70...80	–	–
Коррозионно-стойкие и жаропрочные стали	До 230	5...8	100...150	70...100	–	–
	230...270	3...5	80...110	60...80	–	–
Чугуны	До 220	–	–	–	90...120	70...90
	220...260	–	–	–	70...100	60...80
Алюминиевые сплавы Д16, АК4, АЛ9	60...110	25...50	–	–	150...180	120...150
Магниевого сплавы	50...90	38...75	–	–	–	–
Медные сплавы	80...150	15...40	–	–	120...150	90...120
ЛС59-1, Л-62						

Примечания: 1. Указанные скорости резания даны исходя из режущих свойств инструмента. При практическом назначении необходимо учитывать ограничения, накладываемые возможностями станка, по его паспортным данным.

2. При благоприятных условиях резания применять твердые сплавы Р10 и К10, при неблагоприятных – Р30 и К20.

3. Для алюминиевых и медных сплавов других марок применяются коэффициенты.



## НАРЕЗАНИЕ РЕЗЬБЫ МЕТЧИКАМИ

Наиболее широко используемым режущим инструментом для нарезания внутренней резьбы является метчик. Различают метчики ручные, машинно-ручные, машинные и гаечные. Метчики машинно-ручные для метрической резьбы с крупным и мелким шагом изготавливают по ГОСТ 3266–81 (в ред. 1999 г.); метчики машинные с винтовыми канавками – по ГОСТ 17933–72 (в ред. 1990 г.); метчики машинно-ручные с укороченными канавками – по ГОСТ 17931–72 (в ред. 1990 г.); метчики гаечные по ГОСТ 1604–71 (в ред. 1993 г.); метчики гаечные с изогнутым концом ГОСТ 6951–71 (в ред. 1984 г.).

Метчики машинно-ручные твердосплавные изготавливают по ГОСТ 3266–81 (в ред. 1999 г.); метчики машинные для нарезания резьб диаметром до 1 мм – по ОСТ 25-1258–86; метчики машинные для станков с ЧПУ – по ОСТ 2-И52-1–74. Метчики машинно-ручные для нарезания трубиной резьбы изготавливают по ГОСТ 3266–81 (в ред. 1999 г.), ГОСТ 6627–74 (в ред. 1991 г.).

Для нарезания трапецеидальной резьбы используют метчики-протяжки. Диаметры отверстий под нарезание метрической резьбы регламентированы ГОСТ 19257–73. Основные конструктивные элементы метчиков приведены на рис. 7.

Режущий участок предназначен для вырезания слоев металла по всему контуру профиля резьбы. Калибрующий участок служит для окончательного формирования профиля (первым калибрующим участком), направления и подачи метчика под действием сил самозатягивания и является запасом на переточку при заточке метчика по режущему участку. Хвостовик метчика предназначен для передачи крутящего момента от шпинделя станка.

Режущим участком метчика вырезают слой металла или по генераторной схеме (рис. 7, б), или по профильной (рис. 7, в). В большинстве случаев применяется генераторная схема (машинные, гаечные и другие метчики). Профильную схему применяют для калибрующих и конических метчиков.

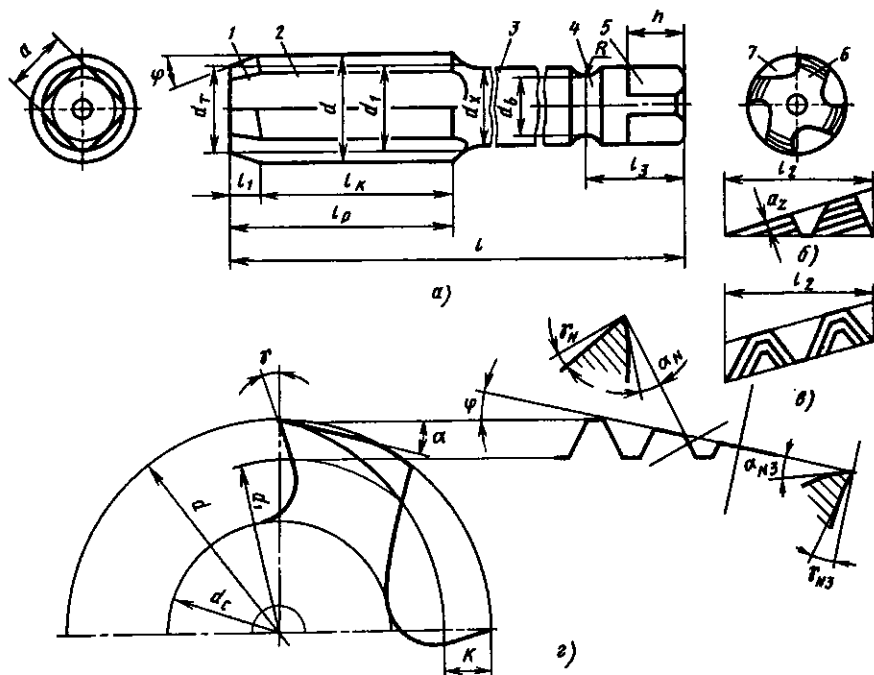


Рис. 7. Конструктивные элементы метчиков:

- а – общий вид метчиков: 1 – режущая часть; 2 – калибрующая часть; 3 – хвостовик; 4 – выемка для удержания метчика в быстросменном патроне; 5 – квадрат для передачи крутящего момента; б – зуб метчика; 7 – стружечная канавка; в – генераторная схема резания; г – профильная схема резания; з – геометрические параметры метчика

Основные параметры режущего участка: его длина от торца до начала калибрующего участка  $l_1$ , угол конуса  $\varphi$ , длина режущего участка, который непосредственно участвует в резании  $l_2$ .

Взаимосвязь между этими параметрами определяется по формулам

$$l_1 = \frac{d - d_\tau}{2 \operatorname{tg} \varphi}, \quad l_2 = \frac{d - d_c}{2 \operatorname{tg} \varphi},$$

где  $d_c$  — диаметр отверстия под резьбу, ( $d_c > d_1$ );  $d_\tau$  — диаметр по торцу;  $d$  — наружный диаметр метчика;  $d_1$  — наружный диаметр резьбы.

Диаметр по торцу и фаска обеспечивают плавный вход метчика в отверстие,  $d_\tau = d_1 - (0,1 \dots 0,35)$  мм.

Во многих случаях длина  $l_1$  задается, и тогда  $\varphi$  уточняется по формуле

$$\operatorname{tg} \varphi = (d - d_\tau) / (2l_1).$$

Длина  $l_1$  назначается в зависимости от вида отверстия (глухое, сквозное), типа метчика (машинный, гаечный и т. п.), номера метчика в комплекте. Например, для машинных метчиков при нарезании резьб в глухих отверстиях

$d$ , мм .....	2...6	8...4	16...20	22...24	27...36	39...52
Черные металлы .....	3	3	3	3; 4	4	4-6
Легкие сплавы .....	2	2; 3	3	3; 4	4	4-6

Форма поперечного сечения рабочей части метчиков представлена на рис. 8. Для метчиков, которые после обработки выворачиваются из отверстия, профиль стружечных канавок должен обеспечить создание угла  $\xi < 90^\circ$  (рис. 8, а) на нерабочем участке спинки в целях предотвращения попадания корней стружки, образованных при нарезании резьбы, под заднюю поверх-

вследствие сбегая резьбы  $l_1 = 2P$ ; для комплектов метчиков из трех штук  $l_1 = 6P$  — черновой (первый),  $l_1 = 4P$  — второй,  $l_1 = 2P$  — чистовой (третий).

Параметры  $l_2$  и  $\varphi$  влияют на толщину стружки  $a_z$ , снимаемой одним режущим элементом метчика, число которых определяется

по зависимости  $n = \left(\frac{l_2}{P} + 1\right)z$ , где  $z$  — число

зубьев метчика. Следовательно,  $a_z = h_3 \cos \varphi / n$ , где  $h_3$  — высота профиля резьбы. Оптимальный диапазон величины  $a_z = 0,02 \dots 0,15$  мм. Минимальная толщина стружки должна быть сравнима с величиной округления режущей кромки метчика ( $a_z > r = 0,015$  мм). Для стали  $a_z = 0,02 \dots 0,05$  мм, для чугуна  $a_z = 0,06 \dots 0,07$  мм.

На рабочем чертеже метчика проставляются размеры  $l_1$  и  $\varphi$ . Последний определяется по формуле

$$\sin \varphi = a_z z / P.$$

Число зубьев (стружечных канавок)  $z$  может в зависимости от диаметра метчика  $d$  быть выбрано в соответствии с рекомендациями к стандартам на метчики:

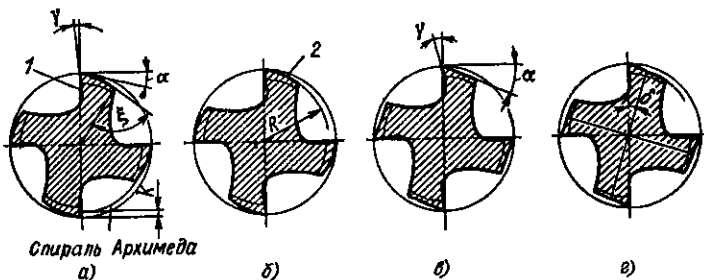


Рис. 8. Профили поперечного сечения режущей части метчиков:

а — с задней поверхностью, заточенной по спирали Архимеда; б — с радиусной формой задней поверхности; в — с плоской задней поверхностью; г — с комбинированной задней поверхностью

## 10. Рекомендуемые значения передних и задних углов метчиков

Обрабатываемый материал и его характеристика	Передний угол $\gamma$ , °	Задний угол $\alpha$ , °	Обрабатываемый материал и его характеристика	Передний угол $\gamma$ , °	Задний угол $\alpha$ , °
Углеродистая сталь с $\sigma_b$ , МПа:			Коррозионно-стойкие стали	6...12	6...8
до 400	12...15	10...12	Чугун серый:		
» 700	8...12	10...12	НВ ≤ 180	2...3	5...7
» 900	6...8	10...12	НВ > 180	0...2	5...7
Стальное литье, поковки	6...10	5...7	Чугун ковкий	6...8	5...7
Легированные стали с $\sigma_b$ , МПа:			Медь	15...20	16...20
до 900	6...9	5...7	Бронза	6...8	6...8
св. 900	3...6	5...7	Цинк	15...20	16...20
			Легкие сплавы	16	7
			Силумин	8...12	10...12

Передняя грань  $l$  может быть прямолинейной или криволинейной, ее сопряжение с радиусом дна канавки должно быть плавным. Передний угол  $\gamma$  выбирают в соответствии с данными табл. 10.

На длине режущей части  $l_1$  метчик заточивается по задней поверхности  $2$  с углом конуса  $\varphi$ . Форма кривой затылования метчика выбирается в зависимости от типа и размеров метчика, условий работы. Наиболее распространенной формой кривой затылования является Архимедова спираль (рис. 7, з), величина затылования

$$K = \frac{\pi d}{z} \operatorname{tg} \alpha,$$

где  $\alpha$  – задний угол, равный 4...20° на наружном диаметре метчика. В любой другой точке на конусе режущей части задний угол  $\alpha_i$  равен

$$\operatorname{tg} \alpha_i = Kz / (\pi d_i),$$

где  $d_i$  – диаметр окружности соответствующего сечения конуса.

Задние углы  $\alpha_N$  и  $\alpha_{N3}$  в сечении, нормальном к режущим кромкам метчика, соответственно равны

$$\operatorname{tg} \alpha_N = \operatorname{tg} \alpha \sin(\varepsilon/2); \quad \operatorname{tg} \alpha_{N3} = \operatorname{tg} \alpha \sin(90 - \varphi),$$

где  $\varepsilon/2$  – половина угла профиля резьбы. Угол  $\alpha_N$  определяется для метчиков, шлифованных по профилю (профильная схема резания).

При достаточно больших углах  $\alpha$  ослабляется тело зуба и ухудшаются условия переточки. В этом случае применяют комбиниро-

ванное затылование, задняя поверхность затылуется на участке, прилегающем к режущей кромке, а на остальной части зуба оформляется по конусу.

Кинематический задний угол  $\alpha_k$  режущей части может значительно отличаться от статического:

$$\operatorname{tg} \alpha_k = \operatorname{tg} \alpha, - \frac{P}{\pi d_i} \operatorname{tg} \varphi.$$

При значительном уменьшении угла  $\alpha_k$  по отношению к  $\alpha$ , необходимо увеличить угол  $\alpha$  при вершине.

В сечении, нормальном режущей кромке, передние углы (рис. 7, з) определяются по формулам:

$$\operatorname{tg} \gamma_N = \operatorname{tg} \gamma_i \sin \frac{\varepsilon}{2};$$

$$\operatorname{tg} \gamma_{N3} = \operatorname{tg} \gamma_i \sin(90 - \varphi).$$

После заточки по передней и задней поверхностям биение зубьев на режущей части по наружному диаметру не должно превышать для машинных метчиков 0,03...0,04 мм, для гасечных – 0,05...0,06 мм. При большей величине биения создается неравномерная нагрузка на каждый режущий элемент, что понижает стойкость метчиков.

*Калибрующая часть.* Окончательные размеры и качество нарезаемой резьбы определяются качеством исполнения калибрующей части.

Длина калибрующей части  $l_k$  (рис. 7, а) назначается с учетом длины нарезаемой резь-

бы и запаса на переточку при заточке по задней поверхности. Общая длина рабочей части метчика  $l_p = l_1 + l_k$ . После всех переточек длина калибрующей части должна составлять не менее 0,5 диаметра нарезаемой резьбы.

Метчики по калибрующей части могут изготавливаться без затылования по профилю, с затылованием на 2/3 ширины пера или с затылованием по всей ширине пера на величину  $K = 0,01...0,02$  мм. Метчики диаметром до 10 мм в большинстве случаев выполняются незатылованными. Гасиные метчики затылуют на 2/3 ширины пера, что ухудшает направление метчика в процессе работы. В остальных случаях выполняют затылование по всей ширине зуба.

Передний угол калибрующей части обычно принимают равным переднему углу режущего участка.

Резьба калибрующей части выполняется с обратной конусностью по наружному диаметру с целью уменьшения трений и разбивки резьбы. Значение обратной конусности на 100 мм длины 0,04...0,08 мм. При нарезании резьбы в пластичных материалах рекомендуется применять метчики с вырезанной в шахматном порядке ниткой на калибрующей части на всей длине, включая и режущий участок.

Стружечные канавки на рабочей части выполняют обычно параллельно оси метчика. При обработке глухих отверстий в вязких материалах канавки наклоняют под углом  $\omega < 20^\circ$ . Обычно угол наклона правый, что способствует отводу стружки.

**Хвостовик метчика.** Для передачи крутящего момента на хвостовике выполняется квадрат (см. рис. 7, а). Диаметр хвостовика  $d_x = d_1 - (0,25...1,5)$  мм для диапазона диаметров  $d = 7...52$  мм. При таком соотношении метчик свободно проходит через обработанное отверстие. Для метчиков малого диаметра  $d_x > d$ , что уменьшает количество поломок.

По назначению метчики делятся на метчики для обработки сквозных отверстий и метчики для обработки глухих отверстий, к последним относятся и метчики с укороченной длиной заборного конуса, допускаемой по конструктивным соображениям в резьбовом отверстии. Для облегчения нарезания резьбы метчики могут выпускаться комплектами из двух-четырех штук.

Рекомендуемое стандартом DIN распределение нагрузки между метчиками комплекта (по объему снимаемого припуска и углу  $\phi$ ) приведено ниже.

	Комплект из двух штук	Комплект из трех штук
Черновой метчик .....	70 %, $\phi = 7^\circ$	50 %, $\phi = 4^\circ$
Средний метчик .....	— —	30 %, $\phi = 10^\circ$
Чистовой метчик .....	30 %, $\phi = 20^\circ$	20 %, $\phi = 20^\circ$

Метчики выполняются классов точности для получения: метрической резьбы — 1, 2, 3 и 4; дюймовой резьбы — С, D, E и H; трубной резьбы — А1, А2, А3 и В1.

Исполнительные размеры рассматриваемых метчиков приведены в ГОСТ 17039-71 (в ред. 1990 г.).

Для получения требуемых точности и параметра шероховатости обрабатываемой метчиками поверхности необходимо, чтобы параметр шероховатости передних и задних поверхностей метчиков не превышал  $Ra = 0,63$  мкм.

Рекомендации по назначению метчиков в зависимости от класса точности нарезаемых трубных цилиндрических резьб приведены в табл. 11, а рекомендации по назначению метчиков в зависимости от полей допусков нарезаемых метрических резьб — в табл. 12.

Стружечные канавки стандартных метчиков должны быть полированы или гидрополированы. Рабочую часть метчиков для обработки легких сплавов обычно хромируют. В последнее время получили распространение пленочные покрытия карбидом и нитридом титана, что способствует повышению стойкости метчиков приблизительно в два раза.

### 11. Рекомендации по назначению метчиков в зависимости от класса точности нарезаемых трубных цилиндрических резьб

Класс точности метчика	Класс точности нарезаемой резьбы
А1	Допуски по ГОСТ 6211-81 при нарезании внутренней цилиндрической резьбы, предназначенной для соединения с трубной конической резьбой
А2; А3	Класс А (ГОСТ 6357-81)
В1	Класс В (ГОСТ 6357-81)

## 12. Рекомендации по назначению метчиков в зависимости от полей допусков нарезаемых метрических резьб

Класс точности метчика	Поле допуска нарезаемой резьбы
1	4H, 4H5H, 5H
2	5G, 5H6H, 6H
3	6G, 6H, 7H, 8H
4	6H, 7H, 8H

Примечания: 1. Резьбу с полями допусков 6H, 7H и 8H можно нарезать метчиками класса точности 1 и 2.

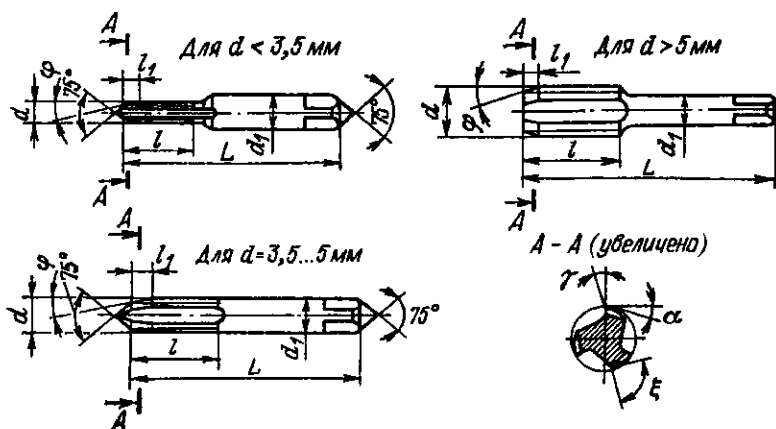
2. Приведенные в таблице поля допусков нарезаемых резьб могут быть получены метчиками при эксплуатации их на станках, удовлетворяющих предъявляемым к ним нормам точности, с применением патронов, обеспечивающих самоустановление метчиков в радиальном направлении и компенсирующих несоосность отверстия и метчика.

3. В связи с тем что точность нарезания резьбы зависит также от обрабатываемого материала, скорости резания, СОЖ и других факторов, потребители могут выбирать другие классы метчиков, применение которых обеспечивает получение резьбы требуемой точности.

В табл. 13 приведены основные типы и размеры стандартных метчиков. К ним относятся метчики ручные с накатанной резьбой; метчики стандартного типа для нарезания на станках метрических, дюймовых, трубных цилиндрических и трубных конических резьб; метчики гаечные для нарезания метрических резьб; метчики для нарезания трубных резьб, оснащенные твердосплавной рабочей частью. К этой же группе метчиков можно отнести метчики для нарезания метрических резьб, оснащенные твердым сплавом и выполняемые цельными (диаметром до 8 мм); метчики с цельной твердосплавной рабочей частью (диаметром 8...12 мм); метчики, оснащаемые пластинками твердого сплава (диаметром 14...39 мм). Метчики машинно-ручные предназначены для нарезания резьб как на станках, так и вручную. Выпускаются комплектно или штучно. Гаечные метчики служат для нарезания сквозных резьб на станках за один проход, блок состоит из одного режущего пера, расположенного первым по направлению рабочего движения, и одного выглаживающего (деформирующего).

## 13. Основные типы и размеры стандартных метчиков

Эскиз, наименование, тип, размеры



Метчики ручные с накатанной резьбой из углеродистой стали для нарезания метрической резьбы (ГОСТ 9150–2002). Комплект из двух штук

$d = 1...27$  мм,  $P = 0,25...3$  мм,  $L = 25...105$  мм;  $l = 7...45$  мм;  $d_1 = 2,24...20$  мм;  $z = 3; 4$ ;  $l_1 = 0,12...18$  мм и  $\varphi = 6...7^\circ$  – черновой метчик;  $l_1 = 0,5...6$  мм и  $\varphi = 16...19^\circ$  – чистовой метчик

Метчики ручные с вышлифованным профилем резьбы для нарезания трубной резьбы (ГОСТ 6357–81). Комплект из двух штук

Продолжение табл. 13

Эскиз, наименование, тип, размеры

$d = 1/8...1\frac{1}{2}''$ ; число шагов 28 – 11 на длине 25,4 мм;  $L = 55...105$  мм;  $l = 18...40$  мм;  $d_1 = 8...35,5$  мм;  $z = 3; 4$ ;  $l_1 = 5,5...14$  мм и  $\varphi = 5^\circ 30'...6^\circ 30'$  – черновой метчик;  $l_1 = 1,8...4,5$  мм и  $\varphi = 18...19^\circ$  – чистовой метчик

Метчики машинно-ручные (ГОСТ 3266–81 (в ред. 1990 г.)) для нарезания метрической резьбы (ГОСТ 9150–2002), одинарные и в комплекте из двух штук, для сквозных и глухих отверстий

$d = 1,6...52$  мм;  $P = 0,2...5$  мм;  $L = 40...200$  мм;  $l = 8...70$  мм;  $d_1 = 2,24...35,5$  мм;  $z = 3; 4$ ;  $l_1 = 1,0...30$  мм и  $\varphi = 5^\circ 30'...18^\circ$  – черновой метчик;  $l_1 = 0,7...10$  мм и  $\varphi = 17...22^\circ$  – чистовой метчик

Метчики машинно-ручные для нарезания трубных резьб (ГОСТ 6357–81). Комплект из двух штук

$d = 1/2...2''$ ;  $L = 80...195$  мм;  $l = 18...40$  мм;  $d_1 = 8...10$  мм;  $z = 3; 4$ ;  $l_1 = 5,5...14$  мм и  $\varphi = 5^\circ 30'...6^\circ 30'$  – черновой метчик;  $l_1 = 1,8...4,5$  мм и  $\varphi = 18...19^\circ$  – чистовой метчик

Метчики (ОСТ 2 И50-4-87) для нарезания круглой резьбы (ГОСТ 13536–68)

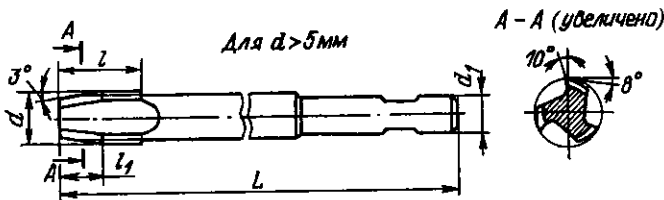
$d = 9$  мм;  $L = 100$  мм;  $l = 40$  мм;  $l_1 = 7$  мм

Метчики машинно-ручные цельнотвердосплавные одноштыковые для нарезания метрических резьб (ГОСТ 9150–2002)

$d = 6...10$  мм;  $L = 60$  мм;  $l = 20...25$  мм;  $l_1 = 4,5...9,0$  мм и  $\varphi = 6^\circ$  – для сквозных отверстий;  $l_1 = 2,2...4,5$  мм и  $\varphi = 12^\circ$  – для глухих отверстий

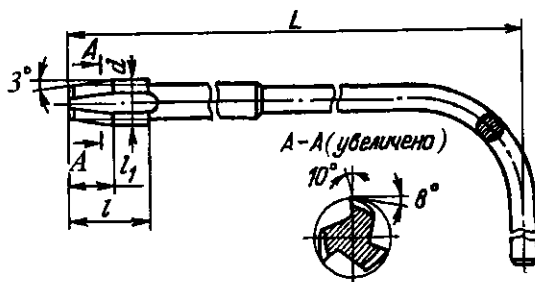
Метчики машинно-ручные с цельнотвердосплавной рабочей частью и стальным хвостовиком для нарезания метрических резьб (ГОСТ 9150–2002)

$d = 12...16$  мм;  $L = 80...100$  мм;  $l = 15...20$  мм;  $L = 3...10$  мм;  $\varphi = 6^\circ$  – для сквозных отверстий;  $l_1 = 1,5...6$  мм и  $\varphi = 12^\circ$  – для глухих отверстий



Метчики гаечные из быстрорежущей стали (ГОСТ 1604–71 (в ред. 1994 г.)) для нарезания гаек с метрической резьбой (ГОСТ 9150–2002) короткие

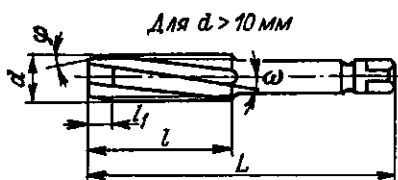
$d = 3...30$  мм;  $P = 0,35...3,5$  мм;  $z = 3; 4$ ;  $L = 70...280$  мм;  $l = 10...70$  мм;  $d_1 = 2,24...22,4$  мм



Метчики гаечные из быстрорежущей стали с изогнутым хвостовиком (ГОСТ 6951–71 (в ред. 1984 г.)) для нарезания гаек с метрической резьбой (ГОСТ 9150–2002) короткие и длинные

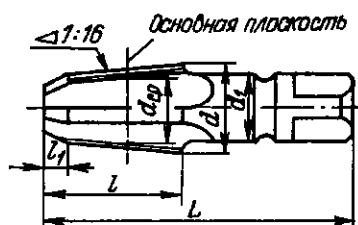
$d = 3...30$  мм;  $P = 0,35...3,5$  мм;  $z = 3; 4$ ;  $l = 7...70$  мм;  $l_1 = 4...40$  мм;  $L = 135...340$  мм – короткие;  $L = 140...420$  мм – длинные

Эскиз, наименование, тип, размеры



Метчики машинные из быстрорежущей стали с винтовыми канавками (ГОСТ 17933–72 (в ред. 1990 г.)) для нарезания резьбы (ГОСТ 9150–2002) в сквозных и глухих отверстиях

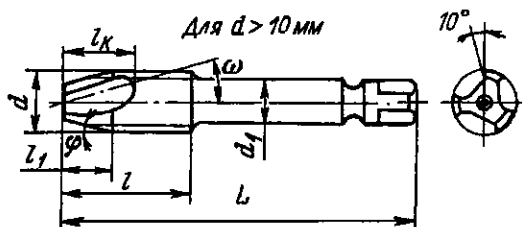
$d = 3 \dots 12$  мм;  $P = 0,35 \dots 1,75$  мм;  $L = 48 \dots 90$  мм;  $l = 12 \dots 28$  мм;  $z = 3$ ;  $\omega = 10^\circ 30'$ ;  $\alpha = 4^\circ$ ;  $\gamma = 10^\circ$ ;  $l_1 = 2 \dots 10,5$  мм;  $\varphi = 6^\circ$  – для сквозных отверстий;  $l_1 = 1 \dots 5,2$  мм и  $\varphi = 12 \dots 12^\circ 30'$  – для глухих отверстий



Метчики (ГОСТ 6227–80 (в ред. 1991 г.)) для нарезания дюймовой конической резьбы с углом профиля  $60^\circ$  (ГОСТ 6111–52 (в ред. 1985 г.)) и трубной конической резьбы (ГОСТ 6211–81)

Дюймовая коническая резьба:  $K \frac{1}{8} \dots K 2$ ;  $d = 10,7 \dots 61,2$  мм;  $d_1 = 8 \dots 45$  мм;  $d_{cp} = 9,519 \dots 58,325$  мм;  $l = 18 \dots 45$  мм;  $L = 55 \dots 140$  мм;  $l_1 = 2,8 \dots 6,6$  мм

Трубная коническая резьба:  $R_c \frac{1}{8} \dots R_c 2$ ;  $d = 10,1 \dots 60,0$  мм;  $d_1 = 8 \dots 45$  мм;  $d_{cp} = 9,147 \dots 58,135$  мм;  $l = 18 \dots 50$  мм;  $L = 55 \dots 140$  мм;  $l_1 = 2,7 \dots 7$  мм;  $z = 3; 4; 6$

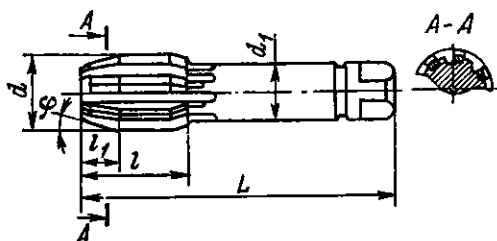


Метчики машинные с укороченными канавками (ГОСТ 17931–72 (в ред. 1991 г.)) для нарезания резьбы (ГОСТ 9150–2002) в сквозных отверстиях

$d = 3 \dots 12$  мм;  $L = 48 \dots 90$  мм;  $l = 12 \dots 29$  мм;  $l_1 = 1,5 \dots 15$  мм;  $d_1 = 8 \dots 9$  мм;  $\varphi = 6 \dots 7^\circ$ ;  $l_x = 4,2 \dots 21$  мм;  $\omega = -10^\circ$

Окончание табл. 13

Эскиз, наименование, тип, размеры



Метчики машинные (ГОСТ 19879–74 (в ред. 1988 г.)), оснащенные твердосплавными пластинами для нарезания трубных цилиндрических резьб (ГОСТ 6357–81) в глухих и сквозных отверстиях деталей из чугуна твердостью HB < 3000

Резьба  $G \frac{1}{2} \dots G2$ ;  $d = 20,955 \dots 59,614$  мм; число шагов 14 – 11 на длине 25,4 мм;  $L = 125 \dots 195$  мм;  $l = 25 \dots 40$  мм;  $d_1 = 16 \dots 40$  мм;  $z = 4$  (до G1) и  $z = 6$  (св. G1);  $l_1 = 8 \dots 9$  мм и  $\phi = 14^\circ$  – для сквозных отверстий;  $l_1 = 5,0 \dots 6,4$  мм и  $\phi = 19^\circ$  – для глухих отверстий

Метчики машино-ручные, оснащенные твердосплавными пластинками для нарезания метрической резьбы (ГОСТ 9150–2002)

$d = 14 \dots 39$  мм;  $L = 80 \dots 170$  мм;  $l = 16 \dots 32$  мм;  $d_1 = 11,2 \dots 28$  мм;  $z = 4$ ;  $l_1 = 3 \dots 18$  мм;  $\phi = 6^\circ \dots 6^\circ 30'$  – для сквозных отверстий;  $l_1 = 1,5 \dots 6$  мм и  $\phi = 15 \dots 16^\circ$  – для глухих отверстий

*Прогрессивные конструкции метчиков и основные направления их совершенствования.* К специальным видам метчиков относятся: метчики с передней и задней цилиндрическими направляющими, позволяющими повысить точность нарезания резьб; метчики с режущими и выглаживающими зубьями; метчики с внутренним подводом СОЖ; метчики сборной конструкции с регулированием по диаметру нарезаемой резьбы; метчики для нарезания резьб крупного профиля с передачей крутящего момента с двух торцов; комбинированный метчик-сверло для одновременного сверления отверстия и нарезания резьбы в нем. Названные виды метчиков отражают и основные направления их совершенствования. Особое место занимают метчики для нарезания резьб повышенной точности. В качестве примеров рассмотрим несколько оригинальных конструктивных решений.

Метчик (А.с. 288519) с блочным расположением режущих и выглаживающих (деформирующих) зубьев, устойчиво обеспечивающий получение резьб выше 5-й степени точности (по ГОСТ 16093–81), применяется для обработки резьб в отверстиях нормальной

(группы N по указанному ГОСТу) и большой (группы L) длины, диаметром  $\geq 12$  мм за один проход с устранением возникающего при обработке базовым метчиком явления пакетирования стружки.

В зависимости от размера нарезаемой резьбы он выполняется цельным (с хвостовиком или насадным) или сборным. Метчик такой конструкции, имеющий три блока перьев и предназначенный для обработки резьб диаметром 12...24 мм, показан на рис. 9. Каждый блок состоит из одного режущего пера, расположенного первым по направлению рабочего движения, и одного выглаживающего (деформирующего).

Зубья режущих перьев имеют обычное затылование по профилю на величину  $K_1$ , рекомендуемую нормами машиностроения для машинных метчиков, а зубья выглаживающих перьев – двустороннее затылование с середины пера. Величина затылования  $K_2$  определяется шагом нарезаемой резьбы и изменяется в пределах 0,03...0,08 мм на сторону на ширине пера. При этом средний диаметр резьбы  $d_{2n}$  на всей длине выглаживающих перьев больше  $d_{2p}$  режущих. Перепад профилей зубьев режущих



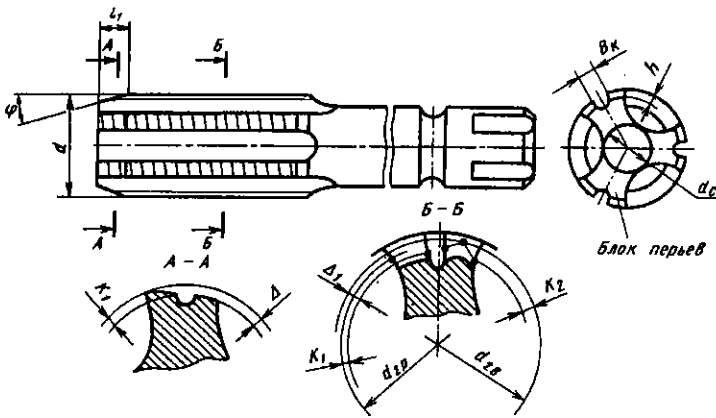


Рис. 9. Метчики с режущим и выглаживающим участками:  
а – конструкция метчика; б – схема образования профиля

и выглаживающих перьев  $\Delta_1 = 0,5(d_{2a} \dots d_{2p})$  зависит от свойств обрабатываемого материала и шага нарезаемой резьбы и находится в пределах 0,005...0,020 мм.

В пределах режущей части  $l_1$  режущие перья блоков обрабатывают затылованием по наружному диаметру по Архимедовой спирали, а выглаживающие выполняются без затылования, т.е. имеют поверхность усеченного конуса. При этом наружный диаметр режущих зубьев больше диаметра выглаживающих на величину перепада

$$\Delta_{\min} = \frac{P}{2z_{6,п}} \operatorname{tg} \varphi + T_{\alpha},$$

где  $P$  – шаг резьбы метчика;  $z_{6,п}$  – число блоков перьев;  $\varphi$  – угол заборного конуса метчика;  $T_{\alpha}$  – допуск на биеие задней поверхности. При переточках метчика по передней поверхности режущих перьев величина  $\Delta$  уменьшается, поэтому для вновь изготовленных метчиков следует принимать  $\Delta = (2 \dots 3) \Delta_{\min}$ .

В пределах каждого блока перья разделены между собой продольной канавкой для

подвода СОЖ в рабочую зону деформирующих зубьев. Ширина этой канавки  $B = (0,03 \dots 0,04)\pi d$ , а глубина  $h = h_3 + 0,03\pi d$ , где  $d$  – диаметр метчика;  $h_3$  – высота профиля резьбы. Благодаря блочному расположению перьев у этого метчика по сравнению со стандартными машинными метчиками в 2...2,6 раза возрос объем стружечных канавок за счет их расширения и увеличения глубины (т.е. уменьшение размера сердцевины  $d_c$ ) на 20...25%. При этом прочность блока перьев выше прочности единичного пера обычного метчика, что значительно расширило технологические возможности инструмента. Возможность пакетирования стружки практически исключена даже при обработке глухих отверстий на станках с горизонтальным расположением оси шпинделя.

Для повышения точности резьбопозирования разработаны метчики специальной конструкции с зауженными режущими зубьями. Суть конструктивного решения заключается в том, что при подрезании верхних сторон резьбовых впадин отверстия (подача меньше шага резьбы) заужают режущие зубья со стороны хвостовика метчика (рис. 10, а). При подрезании нижних

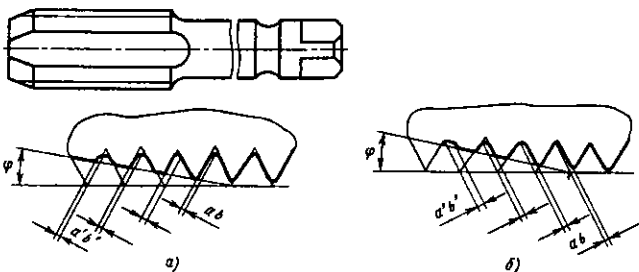


Рис. 10. Метчики с режущими зубьями, зауженными со стороны хвостовика (а) и со стороны заборного конуса (б)

сторон резьбы (подача больше шага резьбы) заужают зубья со стороны заборного конуса инструмента (рис. 10, б). Заужение  $a'b'$  возрастает от калибрующей части к первому режущему зубу метчика. Его изменение от зуба к зубу может быть постоянной или переменной величиной. Заужениями выполняются либо все режущие зубья метчика, либо часть из них на отрезке заборного конуса с первого режущего зуба. В некоторых случаях часть режущих зубьев может быть выполнена с одинаковой величиной заужения, если такие зубья располагаются между зубьями с изменяющейся величиной заужения.

При работе такими метчиками за счет дополнительного резания боковыми кромками зауженной стороны зубьев создается осевая сила, которая противодействует осевым подрезаниям резьб. Для расчета заужений необходимо знать значение удельных сил резания, действующих на боковых кромках зубьев. Наибольшее влияние на изменения удельных осевых сил при отсутствии внешних факторов воздействия оказывает изменение угла заборного конуса метчика. При уменьшении этого угла у метчиков  $M14 \times 1,5$  с тремя перьями с  $\varphi = 20^\circ$  до  $\varphi = 6^\circ$  удельные силы при обработке стали 45 (196 НВ) уменьшаются.

При работе метчиком  $M14 \times 1,5$  ( $\varphi = 20^\circ$ ) с числом режущих зубьев  $n = 5$  для исключе-

ния осевых подрезаний от сил резания в момент захода в отверстие первых калибрующих зубьев необходимо первый режущий зуб метчика заузить со стороны хвостовика на 0,15 мм. Каждый последующий зуб меньше предыдущего на 0,03 мм. При наличии внешних осевых сил в зависимости от их направления заужение режущих зубьев метчика корректируется в ту или иную сторону.

При работе предлагаемыми метчиками точность обработки повышается на 1–2 класса, значительно уменьшается шероховатость поверхности с подрезаемой стороны. Заужения режущих зубьев выполняются на резьбошлифовальных станках посредством дополнительного прохода с помощью копирной линейки.

При нарезании резьбы в деталях из труднообрабатываемых материалов из стандартных метчиков могут быть использованы гаечные метчики, если длина нарезаемого сквозного отверстия не превышает  $10P$ , и метчики, изготовленные из быстрорежущих сталей повышенной производительности и твердых сплавов. Рекомендуемые скорости резания при нарезании резьбы гаечными метчиками в труднообрабатываемых материалах приведены в табл. 14.

Рекомендуемые скорости резания при нарезании резьбы в сквозных отверстиях приведены в табл. 15 и 16.

14. Скорость резания, м/мин, при нарезании резьбы гаечными метчиками в заготовках из труднообрабатываемых материалов

Обрабатываемый материал	Диаметр нарезаемой резьбы, мм													
	6		8		10		12		16		20		24	
	Шаг нарезаемой резьбы $P$ , мм													
	0,5; 0,75	1,0	0,5; 0,75	1,0; 1,25	0,5; 0,75	1,0; 1,5	0,5; 1,0	1,25; 1,75	0,5; 1,0	1,5; 2,0	0,5; 1,0	1,5; 2,5	0,75; 1,5	2,0; 3,0
Коррозионно-стойкие стали типа 20Х13	4,8	4,0	6,0	5,0	6,0	5,0	7,2	6,0	8,4	7,0	9,6	8,0	12,0	10,0
Жаропрочные стали 12Х18Н9Т	3,6	3,0	4,8	4,0	4,8	4,0	6,0	5,0	7,2	6,0	7,2	6,0	9,6	8,0

Примечание. Скорости резания установлены из расчета стойкости метчиков  $T = 20$  мин (увеличение скорости на 30 % обуславливает уменьшение стойкости приблизительно в 2 раза) и работы по сталям с пределом прочности  $\sigma_s \leq 850$  МПа; при  $\sigma_s > 850$  МПа (до 1200 МПа) скорость резания должна быть уменьшена на 25 %.

## 15. Рекомендуемые скорости резания и стойкость машинно-ручных и гаечных метчиков

Мет- чики	$d$ , мм	$P$ , мм	$v$ , м/мин	$T$ , мин	Допусти- мый износ по задней границе $h_z$ , мм	Мет- чики	$d$ , мм	$P$ , мм	$v$ , м/мин	$T$ , мин	Допусти- мый износ по задней границе $h_z$ , мм
Машинно-ручные	2,0	0,4	3,7	15	0,1	Гаечные	3,0	0,5	40	40	0,5
	2,2	0,45	3,7		0,1		4,0	0,7	12,0	40	0,6
	2,5	0,45	4,6		0,2		5,0	0,8	12,0	50	0,8
	3,0	0,5	5,0		0,2		6,0	1,0	12,0	50	0,9
	4,0	0,7	5,4		0,3		8,0	1,25	12,0	60	1,2
	5,0	0,8	6,0		0,4		10,0	1,5	12,0	60	1,6
	6,0	1,0	6,0		0,5		12,0	1,75	12,0	60	1,9
	8,0	1,25	6,0		0,7		14,0; 16,0	2,0	12,0	60	1,9
	10,0	1,5	6,0		0,8		18,0...22,0	2,5	15,0	70	2,0
	12,0	1,75	6,0		1,0		24,0; 27,0	3,0	15,0	70	2,3
	14,0...52,0	Круп- ные шаги	20,0		1,0...2,2		30,0	3,5	15,0	70	2,7

Примечания: 1. Стойкость машинно-ручных метчиков приведена для длины режущей части равной шести шагам.

2. Данные таблицы относятся к обработке стали 35 (HB ≤ 190) и 45 (HB ≤ 212).

## 16. Рекомендуемые скорости резания

Обрабатываемый материал		Значение $v$ , м/мин, при шаге $P$ , мм			
Вид	Твердость HB	Св. 3	1,5...3	1...1,5	До 1
Конструкционные стали	120...200	5...8	10...15	15...18	18...21
	200...280	4...6	10...14	14...18	18...20
	280...320	2...4	5...8	8...10	10...12
	320...370	2...3	3...5	5...6	6...8
Чугуны: серый	120...160	7...11	12...18	18...22	22...24
	160...220	5...6	6...18	9...12	12...15
	220...300	2...3	3...4	4...5	4...5
	высокопрочный	180...220	5...6	7...12	18...22
220...260		4...5	6...9	9...12	12...15
260...330		1...2	3...4	4...5	5...6
ковкий	110...160	4...6	7...12	12...16	16...18
	160...260	4...5	6...9	9...13	13...15
	260...330	2...3	3...5	5...6	6...8
Алюминиевые сплавы Д16, АК4, АЛ9	60...110	10...14	15...23	23...28	28...30
Медные сплавы ЛС59-1, Л-62	80...150	6...9	10...18	18...24	24...26
Цинковые сплавы	70...100	12...20	20...34	34...40	40...46
Магнневые сплавы	50...90	15...20	22...34	34...40	40...46
Металлокерамические материалы	90...200	2...4	5...8	8...10	10...12
Термореактивные пластмассы	—	6...8	6...8	8...10	8...10

Примечания: 1. Указанные в таблице скорости рекомендуются для обработки сквозных отверстий машинными метчиками из базовой быстрорежущей стали Р6М5. При нарезании глубоких отверстий, глухих, а также точных резьб скорость снижается на 30 %.

2. При обработке конструкционных сталей твердостью HB > 280 применять метчики из сталей Р6М5К5 и Р9М4К8. При обработке резьбы диаметром более 16 мм на чугунах с твердостью 280...330 HB имеются примеры успешного применения метчиков из твердых сплавов групп К20 и К10.

3. Скорость резания для гаечных метчиков в 2 раза выше, чем для машинных.

4. Для алюминиевых и медных сплавов других марок применяется коэффициент обрабатываемости.

## НАРЕЗАНИЕ РЕЗЬБЫ КРУГЛЫМИ ПЛАШКАМИ

Плашки применяют для нарезания наружной резьбы. Размеры плашек для нарезания крупной и мелкой метрической резьбы и трубной цилиндрической резьбы регламентированы ГОСТ 9740-71 (в ред. 1992 г.), для трубной конической резьбы – ГОСТ 6228-80 (в ред. 1991 г.).

Диаметры стержней под нарезание метрической резьбы выбирают по ГОСТ 19258-73, трубной цилиндрической резьбы – по ГОСТ 21347-75, а трубной конической резьбы – по ГОСТ 21349-75.

Основные геометрические и конструктивные параметры плашек приведены на рис. 11.

Режущая часть плашек осуществляет срез основной массы металла резьбы, формирует стружку, влияет на нагрузку и ее распределение вдоль режущей кромки плашки, создает усилия, перемещающие плашку вдоль оси заготовки при подаче с самозатягиванием. На рис. 11, а приведена наиболее распространенная конструкция плашки с двумя режущими частями ( $l_1, l_2$ ). Однако существуют конструкции односторонних плашек с одной режущей частью.

Режущая часть (рис. 11, б) характеризуется длиной  $l_1$ , углом в плане  $\varphi$ , передним  $\gamma$  и задним  $\alpha$  углами в нормальном к оси плашки сечении, иногда режущая часть выполняется с углом наклона режущей кромки  $\lambda$ .

Длина режущей части (в мм)

$$l_1 = \frac{d - d_1 + 2l}{2 \operatorname{tg} \varphi},$$

где  $d_1$  – внутренний диаметр резьбы;  $l = 0,1 \dots 0,3$  мм;  $\varphi = 0,25 \dots 30^\circ$ . При нарезании резьбы "в упор"  $\varphi = 90^\circ$ , толщина среза

$$a_z = (P/z) \sin \varphi.$$

Режущая часть плашки должна быть заточена по передней и задней поверхностям. Передний угол  $\gamma$  задается на внутреннем диаметре плашки и выбирается в зависимости от обрабатываемого материала:  $\gamma = 18^\circ$  для стали с  $\sigma_b < 500$  МПа;  $\gamma = 12^\circ$  для стали с  $\sigma_b \geq 500$  МПа;  $\gamma = 6^\circ$  для чугуна;  $\gamma = 23^\circ$  для меди;  $\gamma = 25^\circ$  для легких сплавов, дающих длинную стружку;  $\gamma = 12^\circ$  для легких сплавов, дающих короткую стружку. Стандартные плашки имеют угол  $\gamma = 30 \pm 10^\circ$  (диаметром до 6 мм), остальные –  $\gamma = 25 \pm 10^\circ$ .

Задний угол  $\alpha = 6 \dots 8^\circ$  имеет переменное значение вдоль заборного конуса (режущей части), а падение затылка по стирала Архимеда

$$K = \frac{\pi d_1}{z} \operatorname{tg} \alpha.$$

Кинематический задний угол  $\alpha_x$ , как и на метчиках, отличается от статического:

$$\operatorname{tg} \alpha_x = \operatorname{tg} \alpha - \frac{P}{\pi d} \operatorname{tg} \varphi.$$

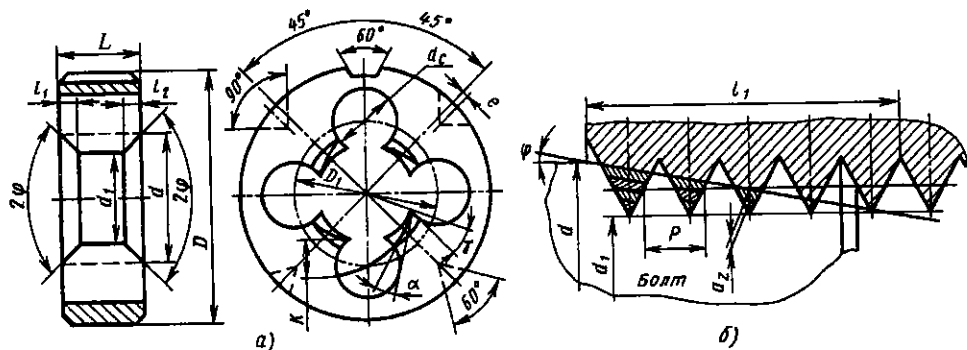


Рис. 11. Конструкция резьбонарезной плашки:  
а – общий вид; б – режущая часть

Калибрующая часть плашек осуществляет калибровку резьбы, служит направляющей при продольном перемещении плашки во время резьбонарезания и свинчивания. Выполняется с полным профилем резьбы, исполнительные размеры которой обеспечивают получение резьбы требуемой точности. Стандартные плашки нарезают резьбы с посадками скольжения квалитетов 6h; 8h; 6h; 8h и с посадками с зазором квалитетов 6g; 6e; 6d, а трубные резьбы – классов А или В.

Толщина слоя, срезаемого круглыми плашками, относительно небольшая, что предопределяет лимитирующий износ по задним поверхностям. Допустимый износ (мм), определяемый как наибольшая ширина площадки износа на одном из режущих зубьев,  $h = 0,1d^{0,5}$ , где  $d$  – номинальный диаметр резьбы, мм.

Стойкость круглых плашек целесообразно определять по формулам при выбранных скоростях резания. Скорость и стойкость резания при работе круглыми плашками

$$v = \frac{C_v d^{1,2}}{T^{0,5} S^{1,2}},$$

где  $C_v$  – коэффициент изменения скорости; для углеродистой конструкционной стали ( $\sigma_b = 750$  МПа)  $C_v = 2,7$ ; для латуни  $C_v = 9$ ; для алюминиевых сплавов  $C_v = 12$ ;  $d$  – номинальный диаметр резьбы, мм;  $T$  – стойкость, мин;  $S$  – подача, равная шагу  $P$  нарезаемой резьбы.

Рекомендуемые скорости резания при работе круглыми плашками представлены в табл. 16.

16. Скорости резания круглыми плашками

Диаметр резьбы $d$ , мм	Шаг резьбы $P$ , мм	$v$ , м/мин	$n$ , мин <sup>-1</sup>
<i>Конструкционная легированная сталь с <math>\sigma_b = 670...750</math> МПа</i>			
4	0,7	2,3	183
6	1,0	2,45	130
8	1,25	2,65	105
10	1,5	2,75	87
12	1,75	2,85	76
16	2,0	3,45	69
20	2,5	3,45	55
24	3,0	3,45	46
30	3,5	3,45	40
36	4,0	4,0	35
<i>Алюминиевые сплавы</i>			
4	0,7	10,2	814
6	1,0	10,8	573
8	1,25	11,7	465
10	1,5	12,3	392
12	1,75	12,8	340
16	2,0	15,3	304
20	2,0	20,0	318
24	3,0	15,3	203
30	3,5	16,6	176
36	4,0	17,6	156
<i>Латуни и бронзы</i>			
4	0,7	7,6	603
6	1,0	8,1	430
8	1,25	8,8	350
10	1,5	9,2	293
12	1,75	9,6	254
16	2,0	11,5	229
20	2,0	15,0	238
24	3,0	11,5	153
30	3,5	12,5	133
36	4,0	13,2	117

Значения скоростей резания, представленные в табл. 16, обуславливают стойкость плашек  $T = 90$  мин (для углеродистой стали с  $\sigma_b = 750$  МПа, алюминиевых сплавов и латуни). Для нарезания резьбы  $d < 1$  мм применяют плашки без стружечных отверстий. Угол заборной части  $\phi = 45^\circ$ , ширина плашки  $3,5 P$ , длина калибрующей части  $1,5 P$ .

Поправочные коэффициенты на стойкость плашек для измененных условий эксплуатации приведены ниже и в табл. 17.

### 17. Поправочные коэффициенты $K_{T\sigma_b}$

в зависимости от материала заготовки

Сталь	$\sigma_b$ , МПа	$K_{T\sigma_b}$
Углеродистая	600...650	1,35
	670...750	1,0
Хромистая	600...650	0,81
	670...750	0,64
Хромокремне-марганцовистая	670...750	0,25

Поправочные коэффициенты  $K_{TV}$  зависят от относительной скорости резания.

Относительная скорость резания, м/мин <sup>*1</sup>	$K_{TV}$
1,5	0,45
1,35	0,55
1,2	0,7
1,0	1,0
0,9	1,23
0,8	1,56
0,7	2,04

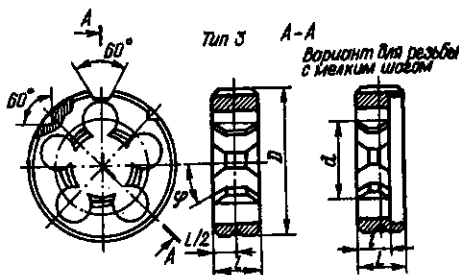
Относительный шаг  $P$  нарезаемой резьбы, мм

0,2...0,4	2,0
0,5...0,6	1,5
0,7...1,0	1,0

Основные виды стандартных и некоторые виды специальных круглых плашек приведены в табл. 18.

### 18. Основные виды и размеры круглых плашек

Эскиз, наименование, тип, основные размеры



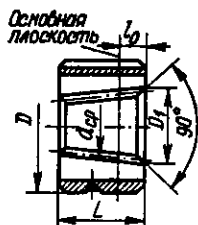
Плашки круглые (ГОСТ 9740-71 (в ред. 1992 г.)) для нарезания метрических резьб (ГОСТ 9150-2002)

$d = 1...76$  мм,  $P = 0,2...6,0$  мм;  
 $L = 3...36$  мм;  $z = 3 - 12$

Плашки круглые для нарезания трубной конической резьбы (ГОСТ 6357-81); резьба  $G1,8...G1\frac{1}{2}$ ; число шагов 28 - 11 на длине 25,4 мм;  $D = 30...90$  мм;  $L = 8...22$  мм;  $z = 4 - 7$

\*1 Относительная скорость резания  $v$  определяется как отношение  $\frac{v_{\phi}}{v_p}$ , где  $v_{\phi}$  - фактическая скорость резания;  $v_p$  - расчетная скорость резания.

Эскиз, наименование, тип, основные размеры



Плашки круглые (ГОСТ 6228-80 (в ред. 1991 г.)) для нарезания конической дюймовой резьбы (ГОСТ 6111-52 (в ред. 1992 г.))

Резьба  $K \frac{1}{16} \dots K 2''$ ; число шагов 27...11 на длине 25,4 мм;

$D = 25 \dots 105$  мм;  $L = 11 \dots 32$  мм;  $d_{cp} = 7,142 \dots 58,325$  мм;

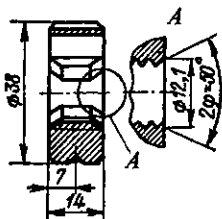
$l_0 = 4,4 \dots 12,4$  мм;  $z = 4 - 7$

Плашки круглые для нарезания трубой конической резьбы (ГОСТ 6211-81)

Резьба  $R_c \frac{1}{16} \dots R_c 2$ , число ниток 28 - 11 на длине 25,4 мм;

$D = 30 \dots 105$  мм;  $L = 11 \dots 36$  мм;  $d_{cp} = 7,142 \dots 58,135$  мм;

$l_0 = 6 \dots 15,1$  мм;  $z = 4 - 7$



Плашки круглые (ОСТ 2 И55-3-87) для нарезания круглой резьбы (ГОСТ 13536-68) в изделиях санитарно-технической арматуры

Резьба калибрующей части плашки не затылается и задние углы на калибрующей части равны 0. Накопленная ошибка шага резьбы составляет 0,008...0,01 мм на 25 мм длины. Предельное отклонение половины угла профиля  $\pm(15 \dots 55)'$  в зависимости от точности и размеров резьбы.

Резьба калибрующей части может иметь доводку по профилю ( $Ra \leq 0,63$  мкм) или быть без доводки ( $Ra \leq 1,25$  мкм).

Радиальное биение наружной цилиндрической поверхности плашки и биение торцов относительно резьбы не должно превышать: 0,05 мм при диаметре резьбы  $d < 11$  мм; 0,06 мм при  $d = 12 \dots 20$  мм; 0,07 мм при  $d = 22 \dots 26$  мм; 0,1 мм при  $d > 26$  мм.

Параметр шероховатости передней поверхности плашек на высоте не менее 1,5 высоты резьбы  $Ra \leq 1,25$  мкм.

Эксплуатация плашек. Плашки стандартного типа работают с самозатягиванием, в свя-

зи с чем при закреплении их на станках необходимо использовать "плавающие" патроны, дающие возможность плашке самоустановиться на обрабатываемой заготовке.

## НАРЕЗАНИЕ РЕЗЬБЫ ГОЛОВКАМИ

Резьбонарезные головки применяют для нарезания наружной и внутренней резьб. Их делят на головки винторезные с круглыми гребенками; вращающиеся и невращающиеся; головки резьбонарезные с тангенциальными плоскими гребенками.

В машиностроении широко применяют винторезные самооткрывающиеся головки с круглыми гребенками (рис. 12): а - невращающиеся 1К; 2К; 3К; 4К; 5К для токарных и револьверных станков; б - вращающиеся 1КА; 2КА; 3КА; 4КА; 5КА для автоматов и сверлильных станков.

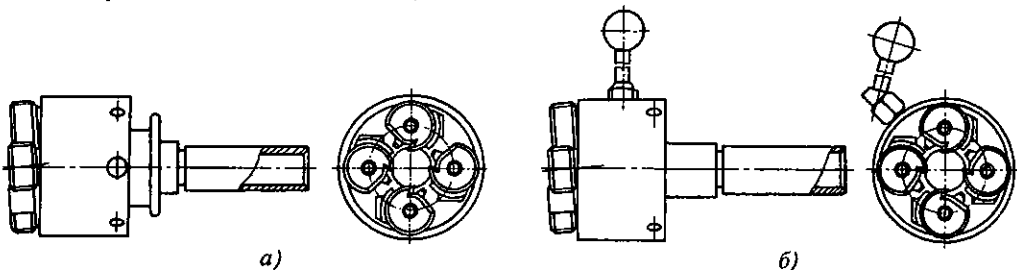


Рис. 12. Винторезные самооткрывающиеся головки с круглыми гребенками

### 19. Основные размеры винторезных головок с круглыми гребенками, мм

Головки		Диаметр	
невращающаяся	вращающаяся	нарезаемой резьбы	хвостовика
1К	—	4...10	20
	1КА		25
2К	—	6...14	30
	2КА		
3К	3КА	9...24	38
	—		40
—	3КА	12...42	45; 70
4К	4КА	24...60	
5К	3КА		

Основные размеры головок с круглыми гребенками регламентированы ГОСТ 21760–76 (в ред. 1983 г.) (табл. 19).

Профиль резьбы круглых гребенок к винторезным головкам соответствует профилю нарезаемой резьбы. Установка гребенки на угол подъема резьбы достигается вследствие расположения ее на опорной плоскости кулачка под углом, равным углу подъема нарезаемой

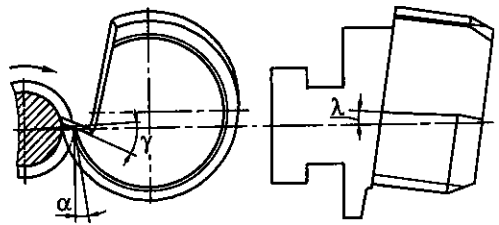


Рис. 13. Геометрические параметры режущих элементов гребенок

резьбы по среднему диаметру. Начало резьбы каждой из работающих гребенок должно быть смещено относительно опорного торца на  $1/4$  шага (при числе гребенок в головке  $n = 4$ ).

Гребенки затачивают на специальных приспособлениях в сборе с кулачками, звездочками и винтами. Размеры круглых гребенок к винторезным головкам регламентированы ГОСТ 21761–76, а кулачков для круглых гребенок – ГОСТ 21762–76 (в ред. 1983 г.). Рекомендуемые геометрические параметры режущих элементов круглых гребенок (рис. 13) в зависимости от обрабатываемого материала приведены в табл. 20.

### 20. Рекомендуемые геометрические параметры режущих элементов гребенок

Материал заготовки	Передний угол гребенки $\gamma, ^\circ$	Смещение вершины резьбы гребенки при диаметре резьбы, мм							$\lambda_0 = \lambda + \psi$
		до 8	8...10	11...14	16...20	22...27	30...42	45...60	
Алюминий и его сплавы	25	0,03	0,08	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	$2^\circ + \psi$
Бронза алюминиевая	20								$1^\circ 30' + \psi$
Сталь конструкционная низкоуглеродистая с $\sigma_s < 750$ МПа	25	—	0,05	0,07	0,12	0,17	0,21	0,25	$2^\circ + \psi$
Медь твердая									$1^\circ 30' + \psi$
Стали конструкционные легированные с $\sigma_s < 1000$ МПа	20	—	0,05	0,07	0,12	0,17	0,21	0,25	$30^\circ + \psi$
Инструментальные стали	15								$-2^\circ + \psi$
Чугуны	10	0,10	0,12	0,14	0,20	0,25	0,30	0,35	$-2^\circ + \psi$
Медь мягкая	5								

Примечания: 1. Принятые обозначения:  $\lambda$  – угол наклона режущей кромки;  $\lambda_0$  – угол наклона режущей кромки и гребенки, установленной на кулачке;  $\psi$  – угол подъема резьбы изделия.

2. При эксплуатации геометрические параметры могут быть уточнены в зависимости от условий обработки.



## 21. Скорость резания

Обрабатываемый материал		Значение $v_1$ , м/мин, при шаге $P$ , мм			
Вид	Твердость НВ	Св. 3	1,5...3	1...1,5	До 1
Конструкционные стали	100...200	6...9	14...17	17...20	20...21
	200...250	3...6	6...12	12...17	15...18
	250...300	2...3	4...8	8...9	9...11
Серый, ковкий и высокопрочный чугуны	110...190	8...14	12...17	15...18	18...21
	190...320	6...12	9...15	12...20	15...20
Алюминиевые сплавы Д16, АК4, АЛ9	60...110	11...15	20...30	30...40	45...60
Медные сплавы ЛС59-1, Л-62	80...150	8...15	12...27	24...30	27...34
Цинковые сплавы	70...100	15...23	30...40	45...60	60...75
Термореактивные пластмассы	—	11...15	20...30	30...45	45...60

Примечания: 1. При обработке материалов с твердостью НВ  $\leq 280$  применять инструменты из базовой быстрорежущей стали Р6М5, при обработке твердых и труднообрабатываемых конструкционных материалов — из сталей Р6М5К5 и Р9М4К8.

2. При обработке внутренних резьб, а также наружных конических резьб скорости уменьшать на 30 %.

3. При назначении скоростей резания на операциях обработки резьб круглыми плашками на стали ХВСГ использовать вышеприведенную таблицу, уменьшив табличную скорость в 2,5 раза, а в случае применения плашек из быстрорежущей стали — в 2 раза.

4. В случаях когда заданная производительность обеспечивается при более низких скоростях резания, целесообразно их понижение.

5. На операциях обработки резьб в стальных деталях возможна замена масел сухим электростатическим охлаждением озонированным воздухом.

Задний угол  $\alpha$  образуется путем смещения оси гребенки относительно оси обрабатываемой детали. Рекомендуемый угол заборного конуса  $\varphi = 20^\circ$ . Наружный диаметр заготовок под нарезание резьбы назначается в зависимости от материала.

Обрабатываемый материал	Диаметр заготовки
Сталь конструкционная низкоуглеродистая и легированная типа 20, 45, 40Х .....	$d - 0,5P$
Ковкий чугун .....	$d - 0,1P$
Бронзы, латуни твердые .....	$d - 0,2P$

Скорость резания определяют по табл. 21. На станке следует устанавливать головки соосно с обрабатываемой деталью. Предельно допустимый износ, измеренный на задних поверхностях заборной части и на первых нитках калибрующей части, не должен превышать 0,8...1,7 мм в зависимости от шага нарезаемой резьбы. Заточку гребенок и проверку их после заточки выполняют в специальных приспособлениях, изготовленных заводом "Фрезер".

Резьбонарезные самооткрывающиеся головки с тангенциальными плоскими гребенка-

ми (рис. 14) выпускает Московский инструментальный завод (МИЗ). Технические характеристики головок с тангенциальными плоскими гребенками приведены в табл. 22.

Каждая резьбонарезная головка предназначена для работы на болторезном или труборезном станке определенной модели, например головки РГТ-1С для работы на станке 1261; головки РГТ-2В, РГТ-2А и 61-101 на станке 5Д07; головки С-225-2В и 61-100 на станке С225; головки РГТ-3А на станке ТТ9149.

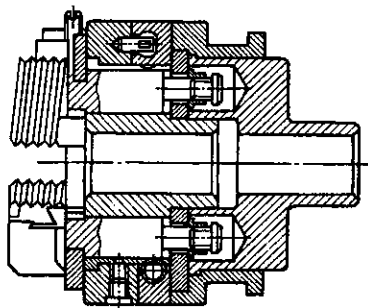


Рис. 14. Резьбонарезные самооткрывающиеся головки с тангенциальными плоскими гребенками

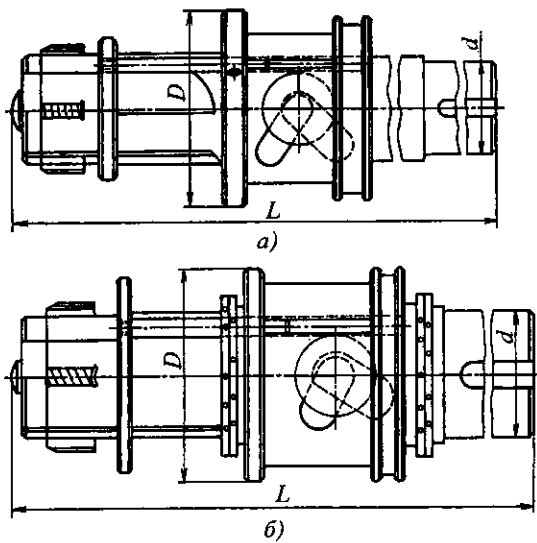


Рис. 15. Резьбонарезные головки для нарезания внутренней резьбы:  
а — КБ; б — РНГВ

## 22. Технические характеристики головок

Тип головки	Размеры нарезаемой резьбы		Шаг нарезаемой резьбы, мм	Размеры головки, мм	
	метрической, мм	дюймовой		Наружный диаметр $D$	Длина $L$
РГТ-1С	6...20	$\frac{1}{4}$ "... $\frac{3}{4}$ "	2,5	100	172
РГТ-2В	10...38	—	1,25...3,0	260	180
С-225-2В	14...76	—			230
РГТ-3А	24...76	1"...3"	1,5...3,0 1,25...3,00	260	200
61-100	14...76	—			227
61-101	10...38	—	3	330	230
ТН2Т	20...60	$\frac{1}{2}$ "...2"	6	350	230
ТН4Т	65...115	2 $\frac{1}{2}$ "...4"			

Головку РГТ-1С закрепляют на станке зажимом хвостовика, а остальные головки с помощью болтов или шпилек к фланцу шпинделя станка. Основные размеры тангенциальных гребенок регламентированы ГОСТ 2287-88.

Гребенки устанавливают в специальных кулачках с помощью шаблона и винтов. Каждая гребенка в комплекте имеет свой номер. В головке гребенки устанавливают последовательно по порядку их номеров по часовой стрелке. Геометрические параметры гребенок: угол заборного конуса  $\varphi = 22^\circ$ ; передний угол  $\gamma = 20... 25^\circ$ . Диаметр заготовки для нарезания резьбы необходимо назначать с учетом обра-

батываемого материала. Предельно допустимый износ не должен превышать  $0,8...2,0$  мм в зависимости от шага резьбы. Гребенки затачивают на универсально-заточном станке в приспособлении или поворотных тисках. Резьбонарезные головки для нарезания внутренней резьбы (рис. 15) изготовляют по чертежам завода "Фрезер". Технические характеристики головок приведены в табл. 23.

Головки предназначены для нарезания внутренней резьбы на токарных, револьверных, резьбонарезных, сверлильных станках и автоматах и могут работать как не вращающимися, так и вращающимися. Резьба нарезается

## 23. Технические характеристики головок

Тип головки	Нарезаемая резьба			Размеры головки, мм	
	Метрическая		Трубная, дюймов	Наибольший наружный диаметр $D$	Длина $L$
	Диаметр $d$ , мм	Наибольший шаг $P$ , мм			
КБ-1; РНГВ-1	36...40	2	$1 \frac{1}{8}$	76	240
КБ-2; РНГВ-2	42...50		$1 \frac{1}{4} \dots 1 \frac{3}{8}$		
РНГВ-3	55...65	3	$1 \frac{3}{4} \dots 2$	110	325
РНГВ-3А	52		—		
РНГВ-4	68...80		$2 \frac{1}{3} \dots 2 \frac{1}{2}$		
РНГВ-5	80...95		—	120	355
КБ-5			—	155	380
РНГВ-6	100...130		$2 \frac{3}{4} \dots 3$	120	346
КБ-6		—	160	380	
			$3 \frac{1}{2} \dots 4$	150	360

за один переход. Головки могут работать с принудительной подачей с помощью ходового винта или конира или самозатягиванием. После окончания нарезания головка автоматически выключается, плашки сводятся к оси головки, в результате чего можно вывести головку из отверстия обработанной детали без вывинчивания, что обеспечивает высокую производительность и хорошее качество резьбы. Плашки к резьбонарезным головкам изготавливают по чертежам завода "Фрезер".

Для нарезания резьбы головкой необходимо применять плашки с соответствующим обозначением номера головки, диаметра и шага резьбы. Плашки могут работать только комплектно, их выпускают для нарезания резьбы в сквозных отверстиях с углом наклона заборной части  $\varphi = 15 \dots 20^\circ$  и передним углом  $\gamma = 25^\circ$ . Задний угол по профилю резьбы плашек  $\alpha_1 = 1 \dots 2^\circ$ , а по заборной части  $\alpha = 6^\circ$ .

Головку на станке необходимо устанавливать соосно с отверстием обрабатываемой детали. Скорость резания выбирают по табл. 21. Предельно допустимый износ не должен превышать 0,3...0,7 мм. Плашки затачивают на универсально-заточном станке в специальном приспособлении, выпускаемом заводом "Фрезер".

### НАРЕЗАНИЕ РЕЗЬБЫ ГРЕБЕНЧАТЫМИ РЕЗЬБОВЫМИ ФРЕЗАМИ

Гребенчатые фрезы применяют для фрезерования наружной и внутренней резьб (дли-

ной 75 мм). Наименьший диаметр наружной резьбы 10...15 мм, а внутренней 18...20 мм.

Гребенчатые фрезы изготавливают с коническим хвостовиком (рис. 16) и насадными (рис. 17). Размеры фрез и технические условия регламентированы ГОСТ 1336-77 (в ред. 1991 г.). Основные исполнительные размеры приведены в табл. 24 и 25.

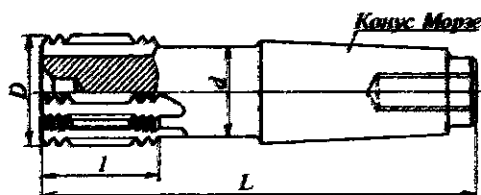


Рис. 16. Резьбовая гребенчатая фреза с коническим хвостовиком

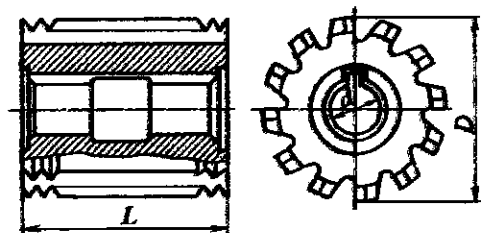


Рис. 17. Резьбовая гребенчатая насадная фреза

## 24. Основные размеры резьбовых гребенчатых фрез с коническим хвостовиком, мм

D	L	L <sub>мин</sub>	l при шаге P, мм												d	Конус Морзе
			0,5	0,6	0,7	0,75	0,8	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5	3,0		
10	90	10	10	10,2	9,8	9,75	9,6	10	10,0	9,0	-	-	-	-	10	1
	96	16	16	16,2	16,1	15,75	16,0	16	16,25	16,5	-	-	-	-		
12	92	12	12	12,0	11,9	12,0	12,0	12	12,5	12,0	-	-	-	-	12	
	100	20	20	19,8	20,3	20,25	20,0	20	20,0	19,5	-	-	-	-		
16	96	16	16	16,2	16,1	15,75	16,0	16	16,25	16,5	15,75	16	-	-	16	2
	105	25	25	25,2	25,2	24,75	24,8	25	25,0	25,5	24,5	24	-	-		
20	100	20	-	-	-	20,25	20,0	20	20,0	19,5	19,25	20	20,0	21	16	
	112	32	-	-	-	32,25	32,0	32	32,5	31,5	31,5	32	32,5	30		
25	125	25	-	-	-	-	-	25	25,0	25,5	24,5	24	25,0	24	20	3
	140	40	-	-	-	-	-	40	40,0	40,5	40,25	40	40,0	39		
32	132	32	-	-	-	-	-	32	32,5	31,5	31,5	32	32,5	30	22	
	150	50	-	-	-	-	-	50	50,0	49,5	49,0	50	50,0	48		

## 25. Основные размеры насадных резьбовых гребенчатых фрез, мм

D	L <sub>мин</sub>	L при шаге P, мм													d
		1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	
32	16	16	15,0	15,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13
	20	20	20,0	19,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	25	25	25,0	24,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
36	20	20	20,0	19,5	19,25	20	-	-	-	-	-	-	-	-	16
	25	25	25,0	24,0	24,5	24	-	-	-	-	-	-	-	-	
	32	32	31,25	31,5	31,5	32	30,0	30	-	-	-	-	-	-	
40	32	32	32,5	31,5	31,5	32	32,5	30	-	-	-	-	-	-	16
	40	40	40,0	40,5	40,25	40	40,0	39	-	-	-	-	-	-	
50	32	-	-	31,5	31,5	32	30,0	30	31,5	32	-	-	-	-	22
	40	-	-	40,5	40,25	40	40,0	39	38,5	40	-	-	-	-	
	50	-	-	49,5	49,0	50	50,0	48	49,0	48	-	-	-	-	
63	40	-	-	40,5	40,25	40	40,0	39	38,5	40	40,5	40	-	-	32
	50	-	-	49,5	49,0	50	50,0	48	49,0	48	49,5	50	-	-	
	63	-	-	63,0	63,0	62	62,5	63	63,0	60	63,0	60	-	-	
80	50	-	-	49,5	49,0	50	50,0	48	49,0	48	49,5	50	-	-	40
	63	-	-	63,0	63,0	62	62,5	63	63,0	60	63,0	60	-	-	
	80	-	-	79,5	78,75	80	80,0	78	77,0	80	76,5	80	-	-	
180	63	-	-	-	-	62	62,5	63	63,0	60	63,0	60	60,5	60	50
	80	-	-	-	-	80	80,0	78	77,0	80	76,5	80	77,0	78	
	100	-	-	-	-	100	100,0	99	98,0	100	99,0	100	99,0	96	

Фрезерование резьбы гребенчатыми фрезами осуществляется на станках 563А, 563Б, 563В, 5К63, КТ43, КТ44, КТ45, КТ85 и др. В процессе нарезания резьбы гребенчатая фреза и деталь имеют вращательное движение;

кроме того, фреза перемещается вдоль оси (за один оборот детали фреза перемещается на шаг резьбы); поперечное перемещение осуществляется на высоту резьбы. Полная обработка резьбы осуществляется за 1,25...1,3 оборота.

Дополнительное вращение на 0,25...0,3 оборота заготовки необходимо для подвода фрезы, врезания ее и отвода.

Резьбу нарезают гребенчатыми фрезами по методу встречного фрезерования, так как в этом случае обеспечивается лучшее качество обрабатываемой поверхности и повышается виброустойчивость технологической системы. Диаметр фрезы для нарезания внутренней резьбы рекомендуется выбирать равным 2/3 диа-

метра фрезеруемой резьбы; 1 длина рабочей фрезы на два-три шага больше, чем длина фрезеруемой резьбы. Режимы резания приведены в табл. 26. Предельно допустимый износ при обработке деталей из стали не должен превышать 0,2 мм для фрез с шагом до 1,25 мм; 0,3 мм с шагом 1,5...1,75 мм; 0,6 мм при шаге свыше 1,75 мм.

Фрезы затачивают по передней поверхности с помощью делительного приспособления.

26. Скорость фрезерования  $v$  и подача  $S_z$

Обрабатываемый материал		Значение	
Вид	Твердость НВ	$v$ , м/мин	$S_z$ , мм/зуб
Конструкционные стали	120...150	40	0,050
	150...200	50	0,050
	200...280	30	0,050
	280...320	25	0,040
	320...370	15	0,025
Серый чугун	120...160	40	0,100
	160...200	30	0,100
	200...280	20	0,050
	280...300	12	0,025
Высокопрочный чугун	180...220	25	0,050
	220...260	20	0,040
	260...330	9	0,025
Ковкий чугун	110...160	50	0,100
	160...200	30	0,075
	200...260	20	0,050
Алюминиевые сплавы Д16, АК4, АЛ9	60...110	100...200	0,100
	80...150	100	0,150
Медные сплавы ЛС59-1, Л-62	70...100	80	0,075
Цинковые сплавы	90...200	25	0,075
Металлокерамические материалы	—	—	—
Пластмассы	—	50...100	0,050

Примечания: 1. При обработке материалов с твердостью до 280 НВ применять инструмент из стали Р6М5, а при твердости более 280 НВ — Р6М5К5 и Р9М4К8. При применении твердосплавных фрез скорости резания увеличивать в 2,5...3 раза.

2. При обработке внутренних резьб подачи  $S_z$  уменьшать на 20 %.

3. Рекомендуемые подачи  $S_z$  приведены для обработки резьб с шагами  $P = 1...2,5$  мм, для резьб с  $P = 0,5...0,8$  мм  $S_z$  уменьшать на 30 %, для резьб с  $P = 3,0...6,0$  мм  $S_z$  увеличивать на 30...60 %.

## ШЛИФОВАНИЕ РЕЗЬБЫ

Шлифование используют для чистовой обработки резьб повышенной точности в деталях из труднообрабатываемых и термически обработанных сталей и сплавов, имеющих твердость свыше 40...42 HRC. Резьбы обычно шлифуют после предварительной обработки

(нарезания резцом); исключение составляют резьбы с шагом  $P$  до 1,5 мм, которые можно шлифовать без предварительной обработки.

В качестве режущего инструмента при шлифовании резьбы используют абразивные шлифовальные круги одиониточные и многоиточные (рис. 18). Шлифование одиониточными кругами обеспечивает высокую точность

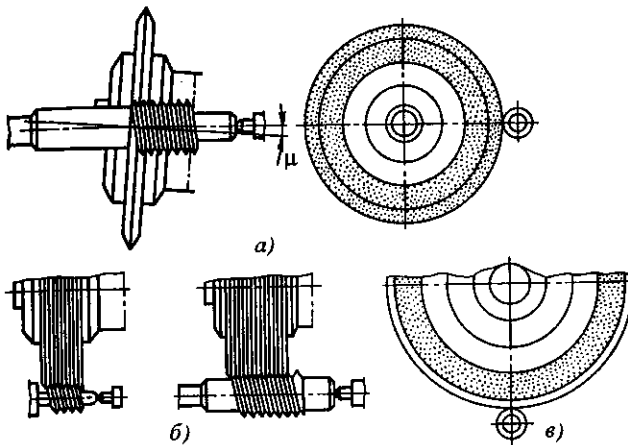


Рис. 18. Схемы шлифования резьбы:

а – однониточным кругом; б – многониточным кругом врезанием; в – многониточным кругом с осевой подачей

резьбы, а шлифование многониточными кругами – меньшую точность (табл. 27), но более высокую производительность. Твердосплавные детали шлифуют алмазными плоскими кругами с двухсторонним коническим профилем формы А2П на органической Б2 и металлической М1, М5 – 6 связках. Круги зернистостью АСМ 60/40 – АСО 100/80 при 150...200 %-иной

концентрации обеспечивают параметр шероховатости обрабатываемой поверхности  $Ra = 0,125...0,320$  мкм. Окружная скорость алмазного круга для шлифования наружных резьб  $v_{кр} = 30...40$  м/с, для внутренних  $v_{кр} = 10...15$  м/с. Скорость вращения детали 0,4...0,6 м/мин. Глубина шлифования при черновых переходах 0,05...0,1 мм; при чистовых 0,005...0,020 мм.

### 27. Точность шлифования резьбы в центрах

Проверяемый параметр	Способ шлифования		
	однониточным кругом с продольной подачей	многониточным кругом с продольной подачей	многониточным кругом с поперечной подачей
Отклонение (мм) среднего диаметра ( $d_{ср} = 10...40$ мм) при шлифовании: за одну операцию за две операции	$\pm 0,003$ $\pm 0,0025$	$\pm 0,010$ $\pm 0,005$	$\pm 0,02$ $\pm 0,01$
Отклонение (мм) шага на длине, мм: 25 300	$\pm 0,0025$ $\pm 0,005$	$\pm 0,005$ $\pm 0,010$	$\pm 0,005$ –
Отклонение половины угла профиля резьбы, °	$\pm 3$	$\pm 6$	$\pm 10$

Шлифование деталей из быстрорежущих сталей рекомендуется осуществлять кругами из зльбора. Для одиониточного шлифования наиболее рациональными являются зльборовые круги на керамической связке: 14ЕЕ1 350 × 8 × 160; 400 × 10 × 203; 450 × 10 × 229 и 500 × 13 × 305.

Зернистость и твердость кругов выбирают в зависимости от шага шлифуемой резьбы (табл. 28).

### 28. Зернистость и твердость зльборовых кругов

Шаг резьбы, мм	Зернистость	Твердость
0,5...0,75	ЛМ20 – ЛМ28	Т1 – Т2
0,8...1,00	ЛМ40 – Л4	СТ3 – Т1
1,0...1,5	Л4 – Л6	СТ3 – Т1
1,5 и более	Л6 – Л8	СТ3 – Т1

Структура кругов определяется главным образом зернистостью. Так, круги зернистостью ЛМ20 – ЛМ28 рекомендуется применять 11-й структуры; зернистостью ЛМ40 – ЛМ4 – 10-й структуры; зернистостью ЛМ5 – ЛМ6 – 9-й структуры; зернистостью ЛМ8 – 8-й структуры. Оптимальная концентрация алмаза в объеме алмазосодержащего слоя 100 %. Окружная скорость круга  $v_{\text{кр}} = 35$  м/с, а детали – 0,16...0,5 м/мин. Глубина шлифования 0,40...0,50 мм при черновой обработке и 0,05...0,15 мм при чистовой. При шлифовании алмазовыми кругами на указанных режимах стабильно достигается шероховатость поверхности  $Ra = 0,16...0,32$  мкм.

### НАКАТЫВАНИЕ НАРУЖНОЙ РЕЗЬБЫ

Накатывание наружных резьбовых поверхностей осуществляется (рис. 19) плоским инструментом с тангенциальной подачей, а также круглым инструментом с подачами: радиальной, тангенциальной, радиально-осевой и осевой.

Основные размеры и технические требования к резьбокатным плоским планкам для накатывания метрической резьбы регламентированы ГОСТ 2248–80 (в ред. 1992 г.), а

основные размеры и технические требования к резьбокатным роликкам – ГОСТ 9539–72 (в ред. 1991 г.).

Данные, характеризующие область применения накатывания, приведены в табл. 29.

Наибольшими возможностями при накатывании резьбы обладают двухроликковые резьбокатные станки, но производятся их невысокая, что является ограничением при накатывании деталей с диаметром менее 20 мм.

Наибольшую производительность имеют резьбокатные станки с инструментом в виде ролика-сегмента. Однако область их применения ограничена деталями с диаметром менее 15 мм и длиной резьбы до  $2d...3d$  мм, где  $d$  – диаметр накатываемой резьбы.

Резьбокатные станки с плоскими планками целесообразно использовать для деталей диаметром менее 27 мм.

Накатывание резьбы может осуществляться на деталях из углеродистых и легированных конструкционных сталей, цветных металлов и сплавов, труднообрабатываемых материалов, способных подвергаться пластическому деформированию и характеризующихся относительным удлинением не менее 8...12 %, поперечным сужением 50...60 %,  $\sigma_s = 400...1300$  МПа и твердостью до 115...400 НВ.

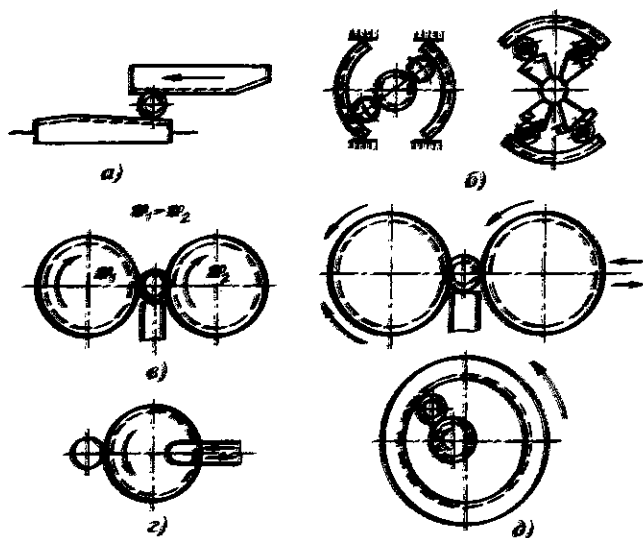


Рис. 19. Схемы накатывания наружных резьбовых поверхностей:

а – плоским инструментом с тангенциальной подачей; б и в – вращающимся инструментом с тангенциальной подачей; г и д – вращающимся инструментом с радиальной подачей

29. Область применения холодного накатывания резьб

Резьба одно- и многозаходная	Методы накатывания						
	плоскими планками		роликом-осгаситром	двумя роликами		тремя роликами	
	используемой и поджималкой	поджималкой	Радиальная подача	Радиальная подача	Осевая подача	Радиальная и осевая подача	Осевая подача
Треугольная (метрическая)	+	+	+	+	+	-	+
Трансцендентальная	-	+	-	+	+	-	+
Круглая	+	+	-	+	+	-	+
Пилообразная	+	+	-	+	+	-	+
Специальная (шурупы)	-	-	-	-	-	+	-
На винтах (для дерева)	+	-	-	-	-	-	-

Диаметр заготовки под накатывание наружных резьб рассчитывается исходя из условия постоянства объема металла до и после

деформации с некоторыми допущениями.

Для точной треугольной резьбы номинальный диаметр заготовки

$$d_{\text{н.т.н.}} = \sqrt{\frac{\text{tg } \alpha}{3P} \left[ 3d_2(d^2 - d_1^2) - 2(d^3 - d_1^3) + \frac{1}{2}(d^2 + d_1^2) \right]}$$

Для накатывания трансцендентальной резьбы

$$d_{\text{н.т.н.}} = \sqrt{d_1^2 + \frac{2h}{3H \cos \psi} [3d_2(h + d_2 + H - d) + h(2h + 3d_2 + 3H - 3d)]}$$

всегда обозначение  $k = \frac{d_2}{d_{\text{н.т.}}}$ , получим

$$d_{\text{н.т.н.}} = \sqrt{d_1^2 + \frac{2hd_2(h + d_2 + H - d)}{Hk}}$$

где  $\alpha$  – угол профиля резьбы,  $P$  – шаг резьбы, мм;  $d$  – наружный диаметр резьбы, мм;  $d_1$  – внутренний диаметр резьбы, мм;  $d_2$  – средний диаметр резьбы, мм;  $h$  – высота профиля резьбы, мм;  $H = 1,866P$  – постоянная величина для каждого шага резьбы;  $d_{\text{н.т.}}$  – диаметр, описываемый центром тяжести, мм;  $\psi$  – угол подъема винтовой линии;  $k = 1,02 \dots 1,04$  – коэффициент.

Полученные результаты должны быть скорректированы в процессе работы. Максимальный допуск на диаметр заготовки принимают равным половине поля допуска на средний диаметр резьбы. К форме заготовки и состоянию ее поверхности предъявляются следующие требования: а) на торце заготовки должна быть снята фаска, угол которой соот-

ветствует углу заборной части резьбонакатного инструмента; б) шероховатость обработанной поверхности заготовки должна соответствовать заданным точностным параметрам; в) на деталях с запасниками до накатывания резьбы необходимо выполнить канавку, ширина  $A$  которой может быть выбрана по рис. 20 в зависимости от шага накатываемой резьбы; г) на деталях из азотированных сталей резьбу следует накатывать до азотирования.

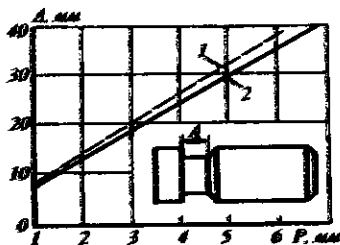


Рис. 20. Зависимость ширины канавки от шага резьбы: 1 – метрической; 2 – трансцендентальной



При эксплуатации резьбонакатных плоских плашек и резьбонакатных роликов необходимым условием является их правильная установка. При установке резьбонакатного инструмента для накатывания однозаходной резьбы необходимо, чтобы вершины резьбы одного инструмента располагались строго симметрично против впадин другого инструмента. Это достигается с помощью специальных шаблонов или калнбров. При применении резьбонакатных плоских плашек и роликов необходимо иметь в виду, что их изготовляют комплектно, и перестановка плашки или ролика из одного комплекта в другой не допускается. Скорость накатывания резьбы выбирают в зависимости от обрабатываемого материала и шага накатываемой резьбы. При накатывании резьбы скорость накатывания может быть выбрана по табл. 30 и 33, крутящий момент по табл. 31 и 34, стойкость по табл. 32 и 35.

30. Скорость накатывания  $v$ 

Обрабатываемый материал	Значение $v$ , м/мин, при обработке	
	метрической резьбы	трапецидальной резьбы
Конструкционные стали с $\sigma_b$ , МПа:		
до 500	60...90	30...50
500...700	40...70	30...40
700...900	30...50	25...35
Коррозионно-стойкие стали	30...50	25...35
Алюминиевые сплавы, медные сплавы (латунь)	60...90	50...60

31. Крутящий момент  $M_{кр}$ 

Параметры резьбы, мм		Значение $M_{кр}$ , Н·м	Параметры резьбы, мм		Значение $M_{кр}$ , Н·м
Шаг $P$	Номинальный диаметр $d_n$		Шаг $P$	Номинальный диаметр $d_n$	
1,0	6...52	8...73	3,0	24...52	100...220
1,25	8...14	14...24	3,5	30...33	150...166
1,5	10...52	21...100	4,0	36...52	200...300
1,75	12	30	4,5	42...45	260...280
2,0	14...52	40...150	5,0	48...52	350...375
2,5	14...52	63...77			

Примечания: 1. Представленные в таблице значения  $M_{кр}$  относятся к накатыванию резьб трехроликowymi головками на заготовках из стали с  $\sigma_s = 700$  МПа. При изменении  $\sigma_s$   $M_{кр}$  изменяется соответственно на 10% на каждые 100 МПа.

2. Для каждого шага резьбы  $M_{кр}$  возрастает с увеличением  $d_n$  по линейному закону и определяется методом линейной интерполяции в диапазоне табличных значений  $d_n$  и  $M_{кр}$ .

32. Стойкость роликков  $T_{табл}$ 

Параметры резьбы, мм		Значение $T_{табл}$ , тыс. пог. м	Параметры резьбы, мм		Значение $T_{табл}$ , тыс. пог. м
Шаг $P$	Номинальный диаметр $d_n$		Шаг $P$	Номинальный диаметр $d_n$	
1,0	6	2	2,0	14...30	0,5...0,8
1,25	8...12	1,5...1,8	2,5	18...22	0,6...0,8
1,5	10...52	0,8...1,5	3,0	24...52	0,4...0,6
1,75	12	1	4,0	36	0,8

Примечания: 1. Представленные в таблице значения стойкости относятся к накатыванию резьб раскрывающимися головками. При накатывании резьб нераскрывающимися головками на проход стойкость роликов повышать в 2 раза, а при накатывании с реверсом – снижать на 30%.

2. Большие значения стойкости соответствуют меньшим диаметрам резьбы.

33. Режмы накатывания

Шаг резьбы $P$ , мм	Скорость $v$ , м/мин, при обработке			Поддача $S_T$ , мм/об
	углеродистых сталей	легированных сталей	коррозионно-стойких и жаропрочных сплавов	
0,5	30	25	20	0,15
0,75	30	25	20	0,20
1,0	25	20	15	0,25
1,25	25	20	15	0,30
1,5	25	20	15	0,35
1,75	20	15	10	0,40
2,0	20	15	10	0,40
2,5	20	15	10	0,35
3,0	20	15	10	0,30

Величина  $T$  определяется по формуле

$$T = T_{\text{табл}} K,$$

где  $T_{\text{табл}}$  – стойкость роликов по табл. 32, тыс. пог. м резьбы, при обработке сталей с  $\sigma_b = 700$  МПа;  $K$  – коэффициент, зависящий от обрабатываемого и инструментального материалов.

Величина  $T_d$  определяется по формуле

$$T_d = T_{d,\text{табл}} K,$$

где  $T_{d,\text{табл}}$  – стойкость роликов по табл. 35, тыс. дет., при обработке сталей с  $\sigma_b = 700$  МПа;  $K$  – коэффициент, зависящий от обрабатываемого и инструментального материалов.

34. Крутящий момент  $M_{кр}$

Шаг резьбы $P$ , мм	Значение $M_{кр}$ , Н·м, при номинальном диаметре $d_n$ , мм												
	3	6	8	10	12	14	18	20	22	24	33	42	48
0,5	2	5	9	14	19	25	35	42	50	–	–	–	–
0,75	–	6	10	14	20	26	37	43	52	61	95	–	–
1,0	–	7	11	15	20	27	39	45	54	63	100	135	175
1,35	–	–	12	16	22	29	–	–	–	–	–	–	–
1,5	–	–	–	17	24	30	42	48	56	66	105	140	180
1,75	–	–	–	–	25	–	–	–	–	–	–	–	–
2,0	–	–	–	–	–	32	45	50	60	70	110	150	190
2,6	–	–	–	–	–	–	47	53	64	–	–	–	–
3,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	77	115	160	200

Примечания: 1. Представленные в таблице значения  $M_{кр}$  относятся к накатыванию резьб длиной 10 мм на заготовках из стали с  $\sigma_b = 700$  МПа. При накатывании резьбы с длиной, не равной 10 мм, табличное значение  $M_{кр}$  умножить на величину отношения фактической длины к расчетной.

2. При изменении  $\sigma_b$ ,  $M_{кр}$  изменяется соответственно на 10 % на каждые 100 МПа.

35. Стойкость роликов тангенциальных головок  $T_{d,\text{табл}}$

Параметры резьбы, мм		Значение $T_{d,\text{табл}}$ , тыс. лет.	Параметры резьбы, мм		Значение $T_{d,\text{табл}}$ , тыс. дет.
Шаг $P$	Диаметр $d_n$		Шаг $P$	Диаметр $d_n$	
1,0	6...12	60...100	1,75	12	40
1,25	8...14	45...70	2,0	14...24	10...20
1,5	10...24	15...50	2,5	18...22	8...10

Примечания: 1. При применении головок с синхронным вращением роликов стойкость  $T_{d,\text{табл}}$  возрастает на 30...50 %.

2. Большая стойкость соответствует меньшим диаметрам резьбы.

Радиальная подача детали при накатывании резьбы накатными роликами (перемещение резьбонакатного ролика в радиальном направлении, отнесенное к одному обороту детали) может быть выбрана по табл. 36.

В качестве смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) при накатывании резьбы на деталях из углеродистых конструкционных и легированных сталей рекомендуется использовать жидкость на масляной основе марки ОСМ-3;

## 36. Рекомендуемые радиальные подачи, мм/об

Материал заготовки	Шаг накатываемой резьбы, мм				
	1	1,5	2	2,5	3
Сталь с $\sigma_s$ , МПа:					
400...500	0,06...0,08	0,1...0,12	0,12...0,13	0,15...0,17	0,17...0,2
550...800	0,04...0,06	0,075...0,09	0,9...0,13	0,13...0,15	0,15...0,2
Латунь и легкие сплавы	0,04...0,175	0,05...0,2	0,06...0,23	0,07...0,27	0,08...0,30
Коррозионно-стойкие сплавы типа 08X18H10T	0,015...0,020	0,020...0,025	0,025...0,03	—	—

при накатывании резьбы на деталях из коррозионно-стойких сплавов — СОЖ марки МР-1У или МР-3, а на деталях из латуни или алюминиевых сплавов — СОЖ марки МР-2У или ОСМ-3.

Специализированные инструментальные заводы выпускают резьбокатные инструменты, к которым относятся: 1) резьбокатные планки типа НП для накатывания метрической резьбы диаметром 4...33 мм (рис. 21, а, табл. 37); 2) резьбокатные планки типа ННТ для накатывания резьбы на тонкостенных трубах диаметром 1/2"...2" (рис. 21, б, табл. 37); 3) самоотрабатывающиеся резьбокатные головки типа ВНГН для накатывания наружной метрической резьбы диаметром 2...52 мм (рис. 22; табл. 38); 4) резьбокатные головки типа ВНГ для

накатывания правых и левых трапециевидных резьб диаметром 16...42 мм (рис. 22; табл. 38); 5) резьбокатные головки типа ВНГТ для накатывания резьбы на тонкостенных трубах диаметром 1/2"...1 1/2" (рис. 22; табл. 39); 6) резьбокатные головки типа РНГТ для накатывания резьбы на полых (типа труб) деталях без их предварительной обработки резанием; 7) тангенциальные резьбокатные головки типа ТНГН-2 для накатывания наружных резьб диаметром 6...14 мм.

Основное преимущество накатывания резьбы резьбокатными планками и головками — возможность применения их на токарных, револьверных, сверлильных, болторезных станках и автоматах.

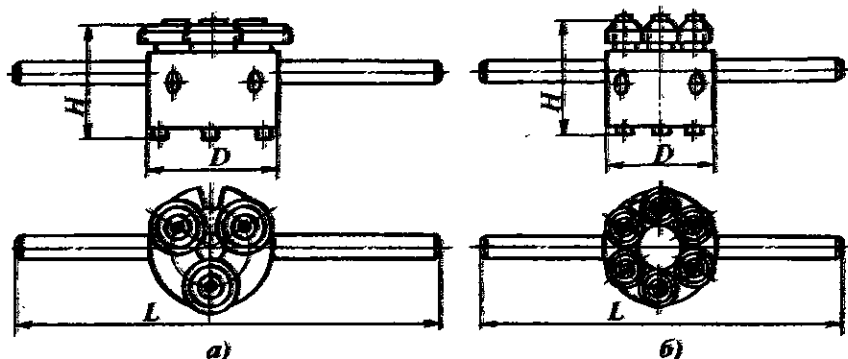


Рис. 21. Резьбокатные планки типа: а — НП, б — ННТ

37. Основные технические характеристики плашек типа НН и ННТ

Обозначение плашки	Размеры накатываемой резьбы		Длина плашки с ручками L, мм	Диаметр корпуса плашки D <sub>к</sub> , мм	Ширина плашки H, мм	Число резцов в комплекте, шт
	Диапазон диаметров, мм (дюймы)	Шаг, мм (число ниток на дюйм)				
НН-1	4...7	0,7; 0,8; 1,0	240	38	35	3
НН-2	8...16	0,75; 1; 1,25; 1,5; 1,75; 2	270	75	55	3
НН-3	18...24	1,5; 2	290	90	55	3
НН-4	27...33	1; 1,5; 2	290	90	55	3
ННТ-1/2" ... 3/4"	(1/2 ... 3/4)	(14)	575	90	60	4
ННТ-1"	(1)	(11)	580	85	60	6
ННТ-1 1/4" ... 1 1/2"	1 1/4 ... 1 1/2	(11)	625	105	60	6
ННТ-2"	(2)	(11)	640	120	60	8

При накатывании обеспечиваются следующие характеристики: высокие степени точности резьбы: 4–5-я при работе тангенциальными головками, 6–7-я при накатывании головками с осевой подачей для метрических резьб и 7–8-я при накатывании головками с осевой подачей для трапецидальных резьб; параметр шероховатости поверхности профиля резьбы Ra ≤ 1,25 мкм; повышение прочности деталей с накатанной резьбой на 25...30 %, а также износостойкости поверхностного слоя резьбы.

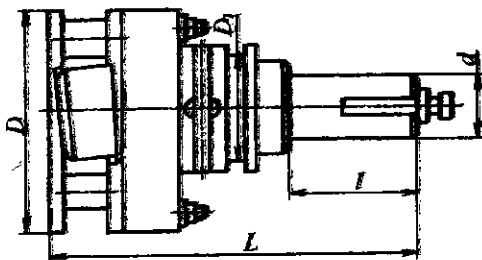


Рис. 22. Резьбокатные головки типа ВНГН, ВНГН<sub>тр</sub> и ВНГТ

38. Основные технические характеристики резьбокатных головок типа ВНГН и ВНГН<sub>тр</sub>

Размеры, мм

Обозначение головки	Диаметр накатываемой резьбы	Шаг резьбы	Диаметр головки D	Общая длина головки L	Диаметр хвостовика d	l	D <sub>к</sub>	A
ВНГН-2	4...7	0,5...1,0	57	95	20	45	34	10
ВНГН-3	8...16	0,75...2,0	90	160	30	55	48	12
ВНГН-4	16...27	1,5...3,0	145	230	45	75	75	16
ВНГН-5А	30...52	3,5...5,0	200	350	80	110	120	20
ВНГН-5Б								
ВНГН-5 <sub>тр</sub> 1	22...24	5	100	265	48	95	80	20
ВНГН-5 <sub>тр</sub> 2	26...32	5...6	200					
ВНГН-5 <sub>тр</sub> 3	36...42	6	160					
ВНГН-5 <sub>тр</sub> 4	16...20	4						

## 39. Основные технические характеристики резьбонакатных головок типа ВНГТ

Обозначение головки	Диаметр накатываемой резьбы, дюймы	Число ниток на дюйм	Диаметр головки $D$ , мм	Общая длина головки $L$ , мм	Диаметр хвостовика $d$ , мм	$l$ , мм	$D_1$ , мм	$A$ , мм
ВНГТ- $\frac{1}{2}$ "... $\frac{3}{4}$ "	$\frac{1}{2}$ ... $\frac{3}{4}$	14	100	235	45	90	70	16
ВНГТ-1"	1	11	140	280	60	105	94	18
ВНГТ-1 $\frac{1}{4}$ "...1 $\frac{1}{2}$ "	1 $\frac{1}{4}$ ...1 $\frac{1}{2}$	11	170	315	65	120	100	18

Пробное накатывание при наладке оборудования и инструмента рекомендуется осуществлять при пониженных скоростях – 5...10 м/мин. В качестве охлаждающей жидкости рекомендуется применять 5...10%-ный раствор эмульсола Укринол-1 в воде с расходом не менее 10...15 л/мин.

С другими конструкциями резьбонакатных головок и их наладкой можно ознакомиться в литературе [1–3].

## РАСКАТЫВАНИЕ ВНУТРЕННЕЙ РЕЗЬБЫ

Внутренние резьбы раскатываются (накатываются) специальными метчиками, называемыми раскатчиками.

Типовые конструкции метчиков-раскатчиков показаны на рис. 23. Число граней раскатчиков на основе опыта рекомендуется следующим: для резьб М6...М20 – шесть граней; для резьб – М20...М33 – шесть или восемь граней; для резьб М36 и выше – восемь граней; для резьб до М6 – три грани. При выборе числа граней у раскатчиков следует учитывать шаг

раскатываемой резьбы; чем больше шаг, тем больше граней.

Метчики (раскатчики) бесстружечные машинно-ручные для сквозных и глухих отверстий правые и левые для резьб от М1 до М36 регламентированы по ГОСТ 18839–73 (в ред. 1987 г.), а метчики бесстружечные гачные с изогнутым хвостовиком – по ГОСТ 18840–73 (в ред. 1987 г.).

Исполнительные размеры метчиков-раскатчиков рассчитываются по формулам.

Диаметр раскатчика:

средний

$$d_{\text{ср}} = \left[ d_2 + \frac{b}{3} + k_m + (P - 0,5)k_p + \delta_{\text{ср}} \right] - \delta_{\text{ср}};$$

наружный

$$d_0 = (d + 0,15P + 0,02) - \delta_0;$$

внутренний

$$d_{\text{вн}} = \left[ d_1 + k_m + (P - 0,5)k_p + \frac{l}{4} \right] - \frac{l}{4}.$$

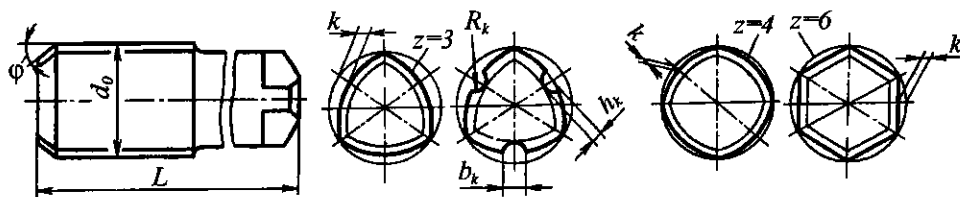


Рис. 23. Типовые конструкции метчиков-раскатчиков:

$\varphi$  – угол заборного конуса;  $d_0$  – наружный диаметр;  $L$  – длина метчика-раскатчика;  $K$  – величина затылования;  $z$  – число граней или рабочих вершин;  $R_k$  – радиус канавки;  $h_k$  – глубина канавки;  $b_k$  – ширина канавки

Обозначения:  $b$  – допуск на средний диаметр гайки соответствующей степени точности;  $\delta_{cp}$  – допуск на изготовление среднего диаметра раскатника;  $d_2$  – номинальный средний диаметр раскатываемой резьбы;  $k_m$  – коэффициент, учитывающий изменение усадки от свойств обрабатываемого материала;  $k_p$  – коэффициент, характеризующий изменение усадки от шага резьбы  $P$ ; значения  $k_m$  и  $k_p$  в зависимости от точности резьбы приведены в табл. 40;  $d$  – номинальный диаметр резьбы;  $\delta_0$  – допуск на изготовление;  $l$  – допуск на внутренний диаметр резьбы;  $d_1$  – номинальный внутренний диаметр резьбы.

Ширина площадки по внутреннему диаметру резьбы

$$a = \left[ 0,25P - \left( \frac{b}{3} + \delta_{cp} \right) \lg \frac{\alpha}{2} \right]^{+\delta_a};$$

для метрической резьбы

$$a = \left[ 0,25P - 0,577 \left( \frac{b}{3} + \delta_{cp} \right) \right]^{+\delta_a},$$

где  $\delta_a = 0,144e$ ;  $\alpha/2$  – половина угла профиля резьбы.

Диаметр отверстия под резьбу

$$d_{отв} = \sqrt{d_0^2 \left( \frac{1}{2} - \frac{2d_0}{3P \operatorname{tg} \alpha} + \frac{d_{cp}}{P \operatorname{tg} \alpha} \right) + d_1^2 \left( \frac{1}{2} + \frac{2d_1}{3P \operatorname{tg} \alpha} - \frac{d_{cp}}{P \operatorname{tg} \alpha} \right)};$$

для метрической резьбы с углом профиля  $60^\circ$

$$d_{отв} = \sqrt{d_0^2 \left( 0,5 - \frac{0,3849d_0}{P} + \frac{0,57735d_{cp}}{P} \right) + d_{вн}^2 \left( 0,5 + \frac{0,3849d_{вн}}{P} - \frac{0,57735d_{cp}}{P} \right)}.$$

Опыт использования раскатывания резьбы позволяет рекомендовать его для деталей из цветных и черных металлов и сплавов высокой пластичности (алюминий, медь, латунь, бронза, мягкая сталь и сплавы). Шаг резьбы допускается до 2 мм.

Если необходимо получить резьбу в труднообрабатываемых материалах, резьбу раскатывают за два перехода. Первый переход осуществляется метчиком-раскатником с открытым профилем, а второй переход – метчиком-раскатником, формирующим резьбовой профиль по внутреннему диаметру резьбы. При шагах резьбы более 2 мм и значительных диаметрах раскатка резьбы производится после

предварительного прорезания резьбы роликовыми раскатниками [6].

Этим способом обрабатываются вязкие материалы с твердостью не более 230 НВ и шагами резьб не более 2 мм. Основное отличие от процесса нарезания – увеличенный диаметр отверстия, примерно равный среднему диаметру резьбы, и отсутствие стружки в процессе обработки.

Скорость обработки составляет 1,0... 1,3 скорости нарезания резьбы метчиками (см. табл. 16).

Крутящий момент определяем по табл. 41, а стойкость деформирующих метчиков по табл. 42.

#### 40. Значения коэффициентов $k_m$ и $k_p$

Материал детали	$k_m$	$k_p$
Сталь 10	0,021/0,019	0,017/0,018
Алюминиевые сплавы:		
Д16	0,021/0,021	0,031/0,031
АЛ6	0,021/0,019	0,017/0,018
АК6	0,019/0,019	0,014/0,018
Латунь Л63	0,019/0,019	0,017/0,018
Медь М3	0,013/0,010	0,014/0,010

Примечание. В числителе приведены значения коэффициентов для резьб 4-й степени точности, в знаменателе – для 5–7-й степеней точности.

41. Крутящий момент  $M_{кр}$ 

Номинальный диаметр $d$ и шаг резьбы $P$ , мм	Диаметр отверстия под резьбу, мм	Значение $M_{кр}$ , Н·м, при обработке					
		стали			АЛ-4	ЦАМ4-1	Л-62
		твердость НВ					
		120	150	210	80	90	120
M3×0,5	2,75 <sup>+0,04</sup>	0,70	0,75	1,0	0,70	0,70	0,75
M22×0,5	21,75 <sup>+0,04</sup>	15	16	21	15	15	16
M4×0,7	3,64 <sup>+0,01</sup>	1,5	1,6	2	1,5	1,5	1,6
M5×0,8	4,59 <sup>+0,05</sup>	2,5	2,8	3,4	2,5	2,2	2,8
M6×1,0	5,48 <sup>+0,06</sup>	3,8	5	6,2	3,8	3,3	6
M52×1,0	51,48 <sup>+0,06</sup>	98	129	160	98	85	1,29
M8×1,25	7,34 <sup>+0,06</sup>	8,3	10	12,5	8,3	6,6	10
M14×1,25	13,34 <sup>+0,06</sup>	24	29	36	24	19	29
M10×1,5	9,20 <sup>+0,07</sup>	15	18	22,5	15	12,5	18
M22×1,5	21,20 <sup>+0,07</sup>	60	72	—	60	50	72
M12×1,75	11,06 <sup>+0,08</sup>	25	30	—	25	20	30
M14×2,0	12,92 <sup>+0,09</sup>	35	40	—	35	30	40
M22×2,0	20,92 <sup>+0,09</sup>	82	—	—	82	70	93

Примечания: 1. Представленные в таблице значения  $M_{кр}$  относятся к стандартным метчикам с углом  $\varphi = 4^\circ 30'$  при обработке резьбы с высотой профиля 75 %, что соответствует полу допуску 6Н, с применением масла типа МР.

2. При накатывании резьб с уменьшенной до 60 % высотой профиля (при увеличенных диаметрах отверстия под резьбу)  $M_{кр}$  уменьшается на 40 %.

3. Применение смазки ВНИИНТ-232 обеспечивает уменьшение  $M_{кр}$  метчиков в 2 раза, а использование ее в качестве 10...20 %-ной присадки к маслам — в 1,5 раза.

42. Стойкость деформирующих метчиков  $T$ 

Размер резьбы, мм	Угол уклона заборного конуса	Значение $T$ , пог. м, при обработке									
		стали					АЛ-4	ЦАМ4-1	Л-62		
		твердость НВ									
		120	140	170	210	230	75...85	90...110	70...90	90...110	120...140
M3×0,5	1°30'	120	80	50	25	16	240	180	140	90	60
	4°30'	60	40	24	12	8	120	90	70	45	30
M4×0,7	9°	30	20	12	6	4	60	45	35	22	15
	1°30'	80	50	30	16	10	160	110	80	60	40
M6×1,0	4°30'	40	25	15	8	5	80	55	40	30	20
	9°	20	12	7	4	2,5	40	27	20	15	10
M8×1,25	1°30'	40	25	15	8	5	70	50	40	30	20
	4°30'	20	12	7	4	2,5	35	25	20	15	10
M10×1,5	9°	10	6	4	2	1,2	18	12	10	7	5
	1°30'	25	16	10	5	3	50	35	30	20	12
M14×2	4°30'	12	8	5	2,5	1,5	24	18	15	10	6
	9°	6	4	2,5	1,2	0,8	12	9	7	5	3

Примечания: 1. В таблице приведены значения стойкости для метчиков из базовой быстрорежущей стали Р6М6 с высотой профиля 75 %, что соответствует резьбе степени точности 6Н по ГОСТ 16093-81.

2. Покрытие метчиков нитридом титана повышает их стойкость в 1,5...2 раза.

3. При накатывании резьб с уменьшенной высотой профиля (70, 65 и 60 %) стойкость метчиков возрастает соответственно на 30, 60 и 100 %.

4. При увеличении диаметра резьбы (для одинаковых шагов) стойкости уменьшаются. Увеличение диаметра в 1,5 раза снижает стойкость на 20 %, в 2...3 раза — на 30...40 %, в 5...8 раз — на 60...80 %.

5. Применение смазки ВНИИНТ-232 вместо масла обеспечивает повышение стойкости метчиков в 2,5 раза, а использование ее в качестве 10...20 %-ной присадки к маслам — в 1,5...2 раза.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грудов А.А., Комаров П.Н. Высокопроизводительный резьбообразующий инструмент: Обзор. М.: НИИМаш, 1980. 64 с.

2. Кирпичников Ф.П., Быкасов В.И. Головки для накатывания конической резьбы // Станки и инструмент. 1978. № 3. С. 24–25.

3. Металлорежущий инструмент: Каталог / А.А. Грудов, Н.В. Славнов, А.В. Долинский и др. М.: НИИМаш, 1976. 484 с.

4. Миропольский Ю.А., Луговой Э.П. Накатывание резьб и профилей. М.: Машиностроение, 1976. 145 с.

5. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: Справочник / В.И. Баранчиков, А.В. Жаринов, Н.Д. Юдина и др.; Под общей ред. В.И. Баранчикова. М.: Машиностроение, 1990. 400 с.: ил.

6. Режимы резания металлов: Справочник / Ю.В. Барановский, Л.А. Брахман, А.И. Гдалевич и др. М.: НИИТавтопром, 1995. 456 с.

7. Режимы резания труднообрабатываемых материалов: Справочник / Я.Л. Гуревич, Я.В. Горохов, В.И. Захаров и др. М.: Машиностроение, 1976. 176 с.

8. Рылов Э.Э., Андрейчиков О.С., Степков А.Е. Раскатывание резьб. М.: Машиностроение, 1974. 122 с.

9. Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев, Г.В. Филиппов, А.Н. Шевченко и др.; Под общей ред. И.А. Ординарцева. Л.: Машиностроение, 1987. 846 с.: ил.

10. Справочник конструктора-инструментальщика / Под общей ред. В.И. Баранчикова. М.: Машиностроение, 1994. 560 с.: ил.

11. Справочник металлиста: Т. 3 / Под ред. А.Н. Маюва. М.: Машиностроение, 1977. 748 с.

12. Справочник по алмазной обработке металлорежущего инструмента / В.Н. Бакуль, И.П. Захаренко, Я.А. Кункин и др. Киев: Техніка, 1971. 208 с.

13. Филиппов Г.В. Режущий инструмент. Л.: Машиностроение, 1981. 391 с.

14. Якушкин В.Г., Стариков В.А. Изготовление резьбы: Справочник. М.: Машиностроение, 1989. 192 с.



## Глава 12

# ЗУБООБРАБОТКА

### ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Зубчатые передачи широко распространены в промышленности, их применяют для передачи вращательного движения и крутящего момента между параллельными, пересекающимися и скрещивающимися осями валов, а также для преобразования вращательного движения в поступательное.

В табл. 1 приведены основные типы зубчатых передач в зависимости от взаимного расположения осей валов.

*Цилиндрические зубчатые передачи* предназначены для передачи вращения и крутящего момента между двумя параллельно расположенными валами. Цилиндрические передачи бывают прямозубые, косозубые и шевроинные с внешним, и внутренним зацеплением. К цилиндрическим относятся и реечные передачи.

Различают цилиндрические зубчатые передачи с *внешним и внутренним зацеплением*. Цилиндрические передачи внутреннего зацепления могут быть прямозубыми и косозубыми. Их широко применяют в самолетах, трансмиссиях легковых автомобилей, сложных планетарных механизмах, в основном там, где межосевые расстояния невелики.

*Конические зубчатые передачи* служат для передачи вращения и крутящего момента между валами с пересекающимися осями. Различают прямозубые конические передачи, косозубые, с нулевым углом наклона и с криволинейными зубьями.

Для передачи вращения и крутящего момента между скрещивающимися осями валов предназначены *винтовые, гипоидные, спирондные, цилиндрические червячные и глобоидные червячные передачи*.

Для изготовления зубчатых колес широко применяют следующие марки стали: углеродистые – 40, 45, 50; хромистые – 20Х, 35Х, 40Х, 50Х; хромоникелевые – 12ХНЗА, 12Х2Н4А, 20ХН, 40ХН; хромомарганцевые – 18ХГ; хромомарганцевые с титаном – 18ХГТ, 25ХГТ, 30ХГТ; хромомолибденовые – 20ХМ; хромоалюминиевые с молибденом – 38ХМЮА; хромоникельмолибденовые – 18Х2Н4МА; хромо-никельмолибденовые с титаном – 25ХГНМТ.

Легированные стали с содержанием хрома, никеля, молибдена, марганца применяют для изготовления высоконагруженных зубчатых колес. Наилучшие свойства в готовом зубчатом колесе получают после цементации. Содержание углерода в цементуемых сталях обычно колеблется от 0,15 до 0,25 %. Закаленные колеса из цементуемой стали имеют твердую, износостойкую поверхность зубьев 58...63 HRC и мягкую, вязкую сердцевину 30...40 HRC, что позволяет им успешно работать в условиях ударных и знакопеременных нагрузок. В зависимости от размера зубчатых колес глубина цементованного слоя составляет 0,8...2 мм.

Зубчатые колеса, передающие небольшие крутящие моменты при малых окружных скоростях, изготавливают из серого чугуна марок СЧ 28, СЧ 32, СЧ 36.

#### 1. Основные типы зубчатых передач

Параллельные оси валов	Пересекающиеся оси валов	Скрещивающиеся оси валов
Прямозубые цилиндрические передачи с внешним и внутренним зацеплением	Прямозубые конические передачи	Винтовые передачи
Косозубые цилиндрические передачи с внешним и внутренним зацеплением	Конические передачи с косыми зубьями	Гипоидные передачи
Шевронные цилиндрические передачи с внешним и внутренним зацеплением	Конические передачи с нулевым углом наклона зубьев	Спирондные передачи
Реечные передачи	Конические передачи с криволинейными зубьями	Цилиндрические червячные передачи Глобоидные червячные передачи

Червячные колеса изготавливают из чугуна, различных марок бронзы, а также латуни. Чугунные колеса изготавливают при скоростях скольжения зубьев до 2 м/с. Когда скорость скольжения зубьев червячной передачи превышает 4..6 м/с, для их изготовления применяют оловянистые бронзы марок БрОНФ и БрОФ10-1, которые обладают высокими антифрикционными и антикоррозионными свойствами.

Заготовки зубчатых колес изготавливают различными методами: литьем (чугун, цветные металлы и пластмассы), холодной и горячей штамповкой, порошковой металлургией, горячей накаткой и горячей штамповкой, в том числе поковки с зубьями и т.д.

При изготовлении *литьем* заготовок в небольшом количестве обычно применяют менее точные методы, которые не требуют сложной оснастки для формирования поверхностей. Такие заготовки имеют невысокую точность и повышенные припуски под механическую обработку. Заготовки, выпускаемые крупными сериями, изготавливают более точными методами литья: под давлением, в металлические формы, центробежным и т.д.

В мелкосерийном производстве стальные заготовки, особенно крупных размеров, получают методом *свободной ковки на молотах*. Этот метод не требует дорогостоящей оснастки,

но он трудоемок и заготовки имеют повышенные и неравномерные припуски. При изготовлении заготовок мелких и средних серий применяют также горячекатаный и холоднотянутый прокат (в том числе трубы с последующей механической отрезкой). При максимальном приближении формы и размеров проката к детали применение такого типа заготовок становится экономически очень выгодным.

Широкое применение в серийном производстве получила *горячая штамповка* заготовок зубчатых колес в одно-, двух- и много-ручьевых штампах на молотах и прессах.

*Поперечно-клиновую прокатку* круглыми валками или плоскими плашками 1 (рис. 1, а) применяют для изготовления ступенчатых валов 2 из проката круглого сечения. Во время прокатки заготовки вращаются, благодаря чему отсутствует облой по периметру поковки, а расход металла сокращается до 15%. Повышается размерная точность, уменьшается припуск на сторону под механическую обработку с 2,0..2,5 мм до 1,0..1,5 мм. Производительность прокатных станов ВНИИметмаша составляет 300 – 900 шт/ч.

*Многопозиционная штамповка на горячей штамповочных автоматах (ГША)* позволяет получать поковки цилиндрических и конических колес типа диска высокой точности и прошитым отверстием. Штамповка произ-

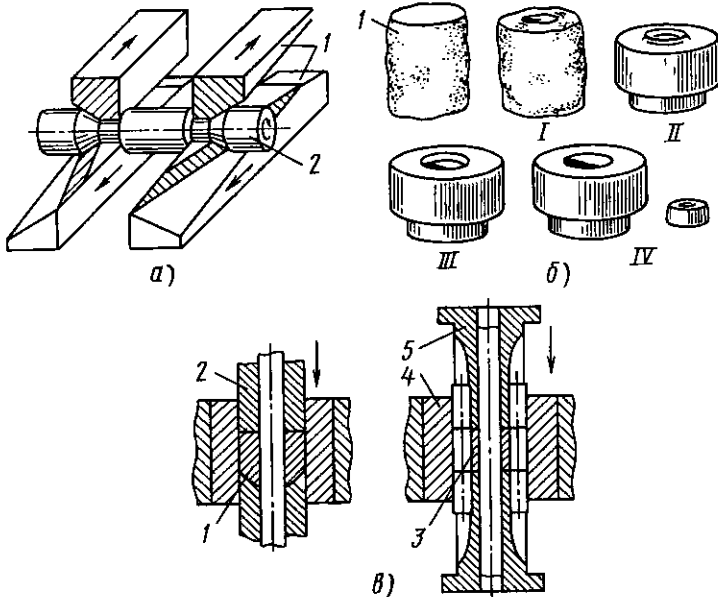


Рис. 1. Методы изготовления заготовок зубчатых колес

водится в автоматической линии: горячекатаный прутки из сталлажа через нагревательную установку ТВЧ подается в автомат, где производится отрезка прутка 1 (см. рис. 1, б) в горячем состоянии, формирование заготовки в первые три рабочих хода (I, II, III), прошивка отверстия и калибровка в четвертом (IV). Производительность линии 70–180 шт/мин.

Этот метод обеспечивает стабильные размеры с минимальным припуском (0,5...1,0 мм) на сторону. Заготовки не имеют заусенцев и штамповочных уклонов. Отход металла в стружку до 6 %, вместо 30...35 % при горячей штамповке на молотах и прессах.

*Объемная холодная штамповка* является наиболее эффективным методом малоотходного изготовления деталей, типа вал. При высокой производительности она обеспечивает минимальный припуск (0,1...0,3 мм) на сторону, получение гладкой поверхности без окалины, значительно сокращает или полностью устраняет последующую механическую обработку. Например, коническую шестерню-вал с диаметром зубчатого венца 40 мм изготавливают за пять переходов с производительностью 30 шт/мин. Потеря металла в стружку составляет 2...7 %.

При изготовлении зубчатых колес методом порошковой металлургии зубчатые колеса спекаются из порошковых смесей в закрытых штампах при температурековки. Материалом служат железные порошки с добавлением в небольшой пропорции порошков легирующих элементов – никеля, хрома, молибдена и др. Порошковая смесь тщательно смешивается, точно взвешивается, затем прессуется в закрытом штампе (см. рис. 1, в) под давлением пуансона 2. Спрессованная из порошка цилиндрической формы заготовка 1 подвергается спеканию в печах при температуре 1150...1350 °С, близкой к температуре плавления основного металла. После вторичного подогрева до температуры 800...1100 °С формованная заготовка подвергается горячей прессовке в закрытом штампе. Основной деталью штампа является зубчатая матрица 4, в которой при перемещении верхнего пуансона 5 прессуется зубчатое колесо 3. Производительность метода при изготовлении деталей сложной формы 200–800 шт/ч, простых деталей – около 3000 шт/ч.

*Термическая обработка заготовок зубчатых колес* перед механической обработкой необходима для снятия внутренних напряжений, улучшения обрабатываемости резанием и подго-

товки металла для создания требуемого качества в готовом зубчатом колесе. Виды термической обработки заготовок послековки, штамповки – нормализация, отпуск или отжиг. Нормализация улучшает обрабатываемость резанием, размельчает зерно и т.д. Отжиг снижает внутренние напряжения, сохраняет высокую твердость и т.д. Отжиг имеет несколько разновидностей, рассмотрим лишь изотермический отжиг, который производится в специальных печах.

Изотермический отжиг широко применяют для заготовок зубчатых колес, особенно из легированных сталей. Он обеспечивает однородную крупнозернистую структуру, хорошую обрабатываемость резанием, незначительную и стабильную деформацию зубчатых колес при цементации и закалке. Перед механической обработкой заготовки должны иметь перлитно-ферритовую структуру с твердостью 156...207 НВ и предел прочности при растяжении  $\sigma_b = 530...700$  МПа. Металл заготовки с повышенной твердостью прилипает к режущему инструменту, при этом шероховатость поверхности ухудшается. Слишком твердый материал вызывает повышенный износ инструмента.

*Базирование цилиндрических зубчатых колес.* У колес-валов с модулем примерно до 5...6 мм при нарезании и шевинговании зубьев в качестве технологических баз обычно используют центровые отверстия на торцах вала. Детали с модулем более 5...6 мм и большой длиной базируют по посадочным шейкам с упором в торец, при необходимости используют лонжеты. При зубофрезеровании и зубошевинговании зубчатых колес-дисков в качестве технологических баз применяют посадочное отверстие 3 (рис. 2, а), один из торцов 1 зубчатого венца; торцы 2 ступицы используют в качестве баз при контроле и сборке.

*Базирование конических зубчатых колес.* Конические колеса-валы (см. рис. 2, б) из зуборезных, зубоотделочных, контрольно-обкатных станках базируют на посадочных шейках 5, 9 и опорный торец 2. Здесь имеет место совмещение конструкторских, технологических и измерительных баз. Конические колеса-диски (см. рис. 2, в) при обработке зубьев и контроле базируют по посадочному отверстию 3 и опорному торцу 2. В этом случае также совмещаются конструкторские, технологические и измерительные базы. У конических колес со ступицей и шлицевым отверстием (см. рис. 2, г)

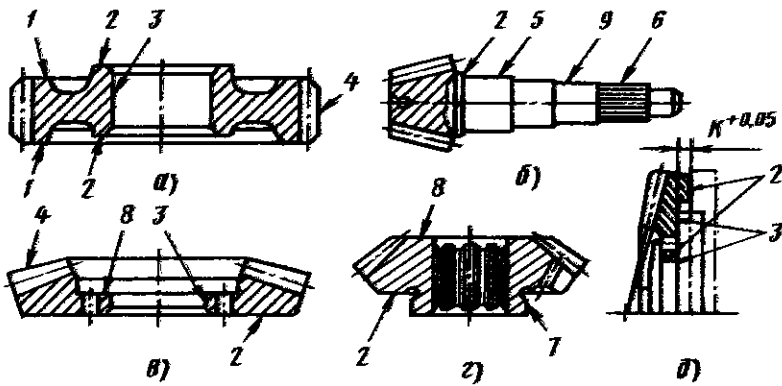


Рис. 2. Базы при обработке зубчатых колес

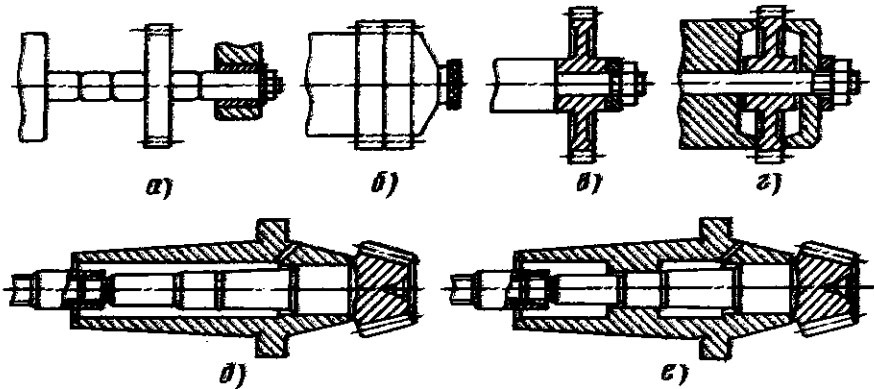


Рис. 3. Схемы базирования зубчатых колес

за технологические базы при зубообработке и контроле принимают шейку 7 ступицы и торец 2, шлицы в отверстии используют для передачи крутящего момента. Поверхности 2 и 7 являются также конструкторскими базами. При обработке конического колеса с выточкой на торце (см. рис. 2, д) в качестве базовых поверхностей при черновом зубонарезании принимают поверхности 2 (отверстие и внешний торец зубчатого венца), а при чистовом нарезании зубьев и контроле — поверхности 3 (отверстие и внутренний торец), являющиеся конструкторскими базами. Внешний и внутренний опорные торцы располагают между собой с точностью  $K^{+0,05}$ .

При базировании и закреплении обрабатываемого колеса в зажимном приспособлении при зубообработке кроме высокой точности изготовления базовых поверхностей необходимо обеспечить достаточную жесткость закрепления обрабатываемого колеса в процессе резания.

На рис. 3 приведены примеры правильного и неправильного базирования и закрепления зубчатых колес при нарезании зубьев. При обработке колес большого диаметра базирование и зажим производят по торцу, расположенному рядом с окружностью выточки зубчатого венца (рис. 3, б), в не на малый торец (рис. 3, а). Базирование и зажим заготовки по торцам ступицы (рис. 3, в) используют только при контроле. При обработке зубьев базирование и зажим заготовки производят по торцам зубчатого венца (рис. 3, г). При обработке и контроле зубьев конического колеса-вала базирование и зажим следует производить по двум шейкам и опорному торцу (рис. 3, е), а не по опорному торцу и одной шейке (рис. 3, д).

Точность изготовления базовых поверхностей. У цилиндрических зубчатых колес-дисков диаметром до 250 мм размер посадочного отверстия 3 (см. рис. 2, а) выполняется с

допуском 0,02...0,03 мм, биеение базовых торцов / относительно оси отверстия в пределах 0,03...0,05 мм, непараллельность торцов / в пределах 0,01...0,02 мм, последнее имеет большое значение при зубофрезеровании зубчатых колес пакетом. Биеение наружной поверхности 4 относительно посадочного отверстия до 0,10 мм.

У конических колес-валов (см. рис. 2, б) размер базовых шеек 5, 9 выполняют с допусками 0,01...0,015 мм. Максимальное биеение поверхностей 2, 5 и 9 не должно превышать 0,005...0,015 мм. Биеение поверхности б оговаривают допуском 0,03...0,05 мм в том случае, если она используется для зажима во время зубообработки и контроля. У конических колес-дисков (см. рис. 2, в) допуск на отверстие 0,01...0,025 мм. Неплоскостность опорного торца 2 при проверке на плите измерительным щупом не должна превышать 0,025 мм. Передние торцы 8 заготовок (см. рис. 2, в, г), с которыми соприкасаются прижимные шайбы, гайки и т.п., должны быть плоскими и параллельными задним опорным торцам в пределах 0,02...0,04 мм. Допуск на изготовление угла конуса вершин зубьев 4 в пределах +8', поверхность 4 в процессе закалки соприкасается с поверхностью штампа.

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

В производстве цилиндрических зубчатых колес *нарезание зубьев на зубофрезерных станках* червячными фрезами *методом обкатывания* является наиболее распространенным и трудоемким. Этим методом можно нарезать цилиндрические зубчатые колеса внешнего зацепления с прямыми и косыми зубьями стандартной, конической и бочкообразной формы, блочные колеса, червячные колеса, шлицевые валы, звездочки цепных передач и др. (рис. 4).

Одной червячной фрезой одинакового нормального модуля и угла профиля можно нарезать большое количество прямозубых и косозубых колес с различным числом и углом наклона зубьев, но с одинаковым модулем и углом профиля. Двухвенцовые зубчатые колеса с различным числом зубьев у венцов (см. рис. 4, д) нарезают за один установ заготовки.

При зубофрезеровании методом обкатывания инструмент и заготовка, находясь в зацеплении, вращаются вокруг своих осей, как

червяк и червячное колесо (червяк представляет собой червячную фрезу). Продольные стружечные канавки фрезы образуют отдельные зубья с прямолинейным профилем, которые в результате затылования получают задние углы, необходимые для обработки резанием. По методу обкатывания профиль зубьев цилиндрического колеса образуется прямолинейными режущими кромками червячной фрезы. Процесс резания заготовки червячной фрезой можно рассматривать подобно зацеплению зубчатой рейки 2 (червячная фреза) и зубчатого колеса 1 (заготовки) на рис. 5, а.

На рис. 5, б показано, как следующие один за другим зубья 3 червячной фрезы входят в контакт с зубом 4 обрабатываемого колеса и формируют эвольвентный профиль. Эвольвентная форма зуба колеса, образованная прямолинейными режущими кромками одной червячной фрезой, обладает такими свойствами, которые позволяют зубчатым колесам с любым числом зубьев правильно зацепляться между собой и с зубчатой рейкой.

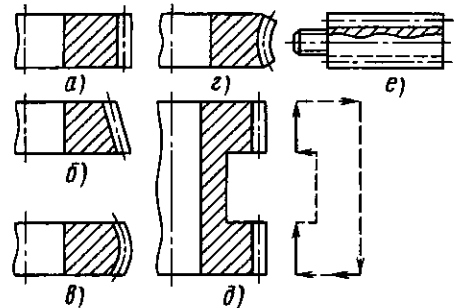


Рис. 4. Зубчатые колеса и шлицевые валы, нарезаемые на зубофрезерном станке: цилиндрическое колесо: а – зуб стандартный; б – зуб конусный; в – зуб бочкообразный; г – червячное колесо; д – двухвенцовое цилиндрическое колесо; е – шлицевый вал

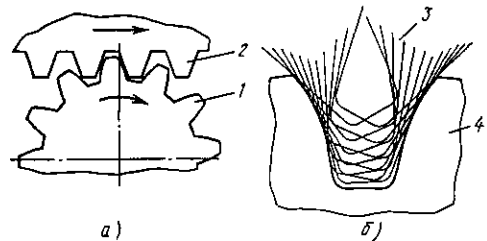


Рис. 5. Зубофрезерование цилиндрических колес: а – зацепление червячной фрезы с колесом; б – образование эвольвентного профиля

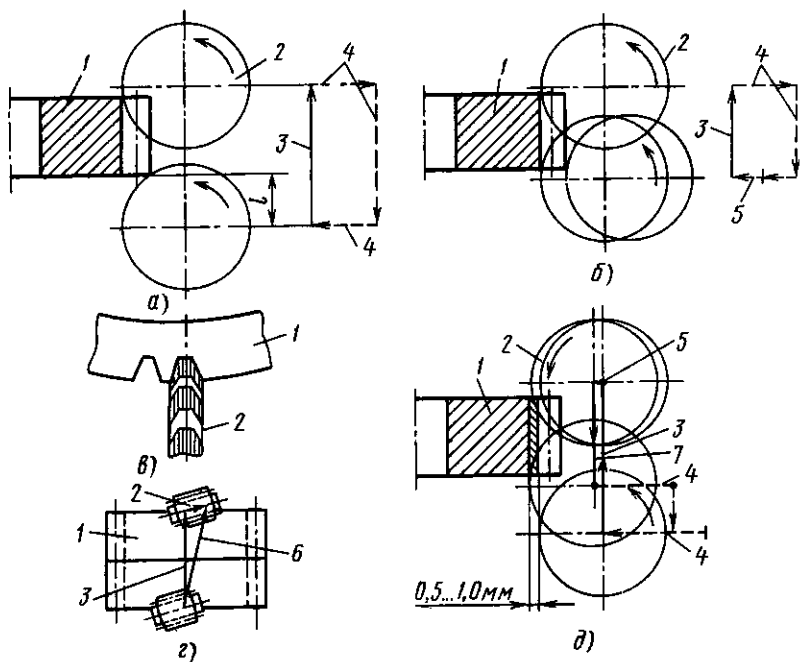


Рис. 6. Схемы методов зубофрезерования:

метод обкатывания: а – с осевой подачей; б – с радиально-осевой подачей; в – метод копирования дисковой фрезой; г – с диагональной подачей; д – двухпроходное зубофрезерование; 1 – заготовка; 2 – режущий инструмент; 3 – осевая подача; 4 – холостые ходы; 5 – радиальная подача; б – тангенциальная подача; 7 – осевая подача второго хода

Метод копирования, при котором профиль режущей части инструмента соответствует профилю впадины зуба нарезаемого колеса (рис. 6, в), имеет в основном малую производительность и невысокую точность, поэтому его применяют ограниченно, обычно в единичном производстве для обработки неотчетливых зубчатых передач (например, дисковыми модульными фрезами на универсально-фрезерных станках с использованием делительной головки). Метод копирования пальцевыми модульными фрезами применяют для обработки крупномодульных цилиндрических и шевронных колес, а также когда изготовление червячными фрезами неэкономично.

Метод обкатывания, обладающий более высокой производительностью и точностью, широко применяется в различных отраслях промышленности. В настоящее время наибольшее распространение получили следующие способы зубофрезерования методом обкатывания.

Зубофрезерование с осевой подачей осуществляется при подаче червячной фрезы параллельно оси обрабатываемого колеса

(см. рис. 6, а). Этот универсальный способ имеет наибольшее применение в промышленности для нарезания цилиндрических колес и шлицевых валов на обычных зубофрезерных станках. К недостаткам этого способа относится большая длина врезания  $l$ , которая возрастает с увеличением диаметра червячной фрезы и угла наклона линии зуба.

Зубофрезерование с радиально-осевой подачей заключается в том, что подача червячной фрезы в начале резания и до получения полной высоты зуба осуществляется радиально к оси обрабатываемого колеса, затем она прекращается и включается осевая подача (см. рис. 6, б). Этот способ осуществляется на специальных зубофрезерных станках обычными червячными фрезами. Производительность при радиально-осевой подаче выше, чем при осевой, за счет сокращения времени на врезание. Из-за повышенного износа зубьев червячной фрезы радиальная подача выбирается в пределах  $0,7...0,9$  мм/об. Этот способ рекомендуется применять там, где это необходимо по условиям обработки, например при зубофрезеровании

зубчатых колес с большим наклоном линии зуба и закрытых зубчатых венцов, при зубофрезеровании двумя рабочими ходами и работе червячными фрезами большого диаметра.

**Зубофрезерование с диагональной подачей** осуществляется на специальных зубофрезерных станках, где осевая подача сочетается с тангенциальной. Фреза перемещается по диагонали параллелограмма, составленного из двух подач — осевой и тангенциальной (см. рис. 6, з).

Зубофрезерование с диагональной подачей по сравнению с осевой улучшает сопрягаемость профилей зубьев прямозубых колес при обкатывании благодаря скрепыванию отбавляющих резцов. Это особенно важно для зубчатых колес, которые в дальнейшем не подвергаются окончательной обработке (например, зубчатые колеса насосов). Уменьшается также шероховатость на профилях зубьев. Существенно повышается период стойкости червячных фрез из-за более равномерного износа зубьев по всей рабочей длине фрезы.

Этот способ целесообразно применять для обработки колес с широкими зубчатыми венцами, пакета колес или колес с повышенной твердостью, когда необходимо иметь большой период стойкости инструмента в процессе обработки. При диагональном зубофрезеровании экономически оправдано применять длинные и точные червячные фрезы.

**Зубофрезерование с переменной осевой подачей** основано на увеличении подачи при входе и выходе червячной фрезы из заготовки. Фрезерование зубчатого колеса начинается на максимальной подаче, затем она постепенно уменьшается до постоянной величины. На постоянной подаче станок продолжает работать до начала выхода фрезы из заготовки. В этот момент подача снова автоматически повышается до установленного максимального значения.

Увеличение подачи вызывает увеличение шероховатости поверхности на зубьях, поэтому этот способ применяют для зубчатых колес до  $m = 5$  мм под последующие чистовые операции — шевингование или шлифование, и также в случае нарезания зубчатых колес с большим углом наклона линии зуба, где путь врезания достаточно велик. Зубофрезерование с переменной осевой подачей позволяет повысить производительность на 20...35%.

Сущность метода зубофрезерования за два рабочих хода состоит в том, что первый и второй

рабочие ходы осуществляются последовательно, за один установ заготовки (см. рис. 6, д), причем второй рабочий ход производится при минимальном припуске — глубина резания составляет 0,5...1,0 мм. Первый рабочий ход, как правило, производит на попутной подаче, второй — на встречной. Из-за малого припуска при втором рабочем ходе скорость резания и осевая подача выше, чем при первом.

При зубофрезеровании за два рабочих хода, которое применяют для колес с модулем свыше 4 мм помимо повышения производительности достигается высокая стабильная точность параметров зубьев, особенно по направлению зуба, создаются благоприятные условия для автоматизации процесса зубофрезерования, увеличивается период стойкости инструмента и производительность на последующей операции зубошевигования.

При **встречном зубофрезеровании** срезаемая стружка имеет форму запятой, в начале ее толщина минимальная, а в конце — максимальная (рис. 7, а). При этом режущие кромки, особенно когда они затуплены, в начале врезания не режут, а скользят по поверхности, уплотняют ее, сами подвергаются повышенному износу. Условия резания значительно затруднены.

При **попутном зубофрезеровании** (см. рис. 7, б), наоборот, толщина стружки в начале резания максимальная, а в конце — минимальная. В этом случае незначительное скольжение в начале резания создаст более благоприятные условия резания. Станок менее нагружен и работает более спокойно. Период стойкости инструмента повышается на 10...30%, достигается хорошая (матовая) поверхность, уменьшаются выхваты на профилях зубьев, возможные при встречном зубофрезеровании, образуются меньше заусенцев на торцах. Особенно эффективно попутное фрезерование при обработке вязких материалов. При обработке чугуна оно не имеет преимуществ.

**Совмещенное зубофрезерование и зубодолбление.** Созданы станки, на которых можно выполнять одновременно зубофрезерование и зубодолбление двух или трех зубчатых венцов, а также только зубофрезерование или зубодолбление наружных или внутренних венцов (см. рис. 7, в). Станки изготовлены на базе зубофрезерного станка, зубодолбежная головка установлена вместо задней колонны.

**Червячная фреза** представляет собой одно- или многозаходный червяк, который имеет определенный исходный контур зубчатой рейки,

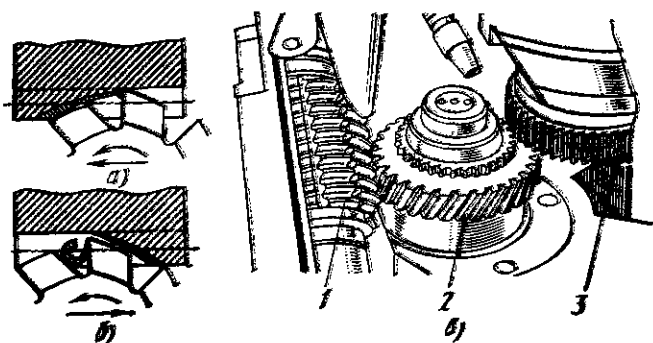


Рис. 7. Зубофрезерование:

*a* — вступное, *б* — попутное, *в* — смещенное зубофрезерование и зубодобление.  
 1 — червячная фреза, 2 — зубчатое колесо, 3 — доборки

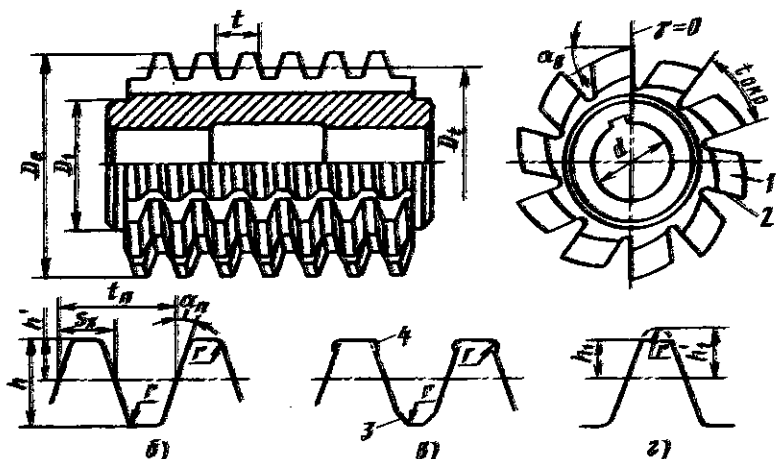


Рис. 8. Червячная фреза металл:

*a* — общий вид фрезы, *б*, *в*, *г* — профили зуба фрезы в горизонтальном сечении,  $D_n$  — наружный диаметр,  $D_d$  — делительный диаметр,  $t$  — осевой шаг,  $t_n$  — нормальный шаг,  $t_{\text{окр}}$  — окружной шаг фрезы,  $s_x$  — толщина зуба,  $h$  — высота зуба,  $K$ ,  $K_c$  — высота головки,  $D_c$  — диаметр контрольного буртика,  $\alpha_n$  — нормальный угол профиля

а расположенные вдоль оси продольные стружечные канавки образуют зубья с режущими кромками, необходимые для обработки резанием.

Конструктивные элементы червячной фрезы приведены на рис. 8. Модуль и угол профиля фрезы должны быть равны модулю и углу профиля нарезаемого колеса. Зубья 1 червячной фрезы заглажены по архимедовой спирали, благодаря чему при пересточке фрезы по передней поверхности 2 задние углы при вершине зуба  $\alpha_n = 10 \dots 12^\circ$  и на боковой режущей кромке  $\alpha_b = 2 \dots 4^\circ$ , а также толщина зуба практически не изменяются. Для чистовых червячных фрез передний угол  $\gamma = 0$ , для черновых фрез  $\gamma = 5 \dots 10^\circ$ . Стандартный профиль

зубьев фрезы, в осевом сечении имеет прямые стороны (рис. 8, б). Червячные фрезы под шлифование и шевингование имеют модифицированный профиль (рис. 8, в).

Протуберанец 4 на головке зуба фрезы, служит для подпружинивания ножки зуба колеса, фланк 3 срезает фаску на вершине зуба колеса. Для повышения прочности зубьев колеса головка зуба фрезы скругляется и высота ее увеличивается (рис. 8, г), при этом необходимо соответственно увеличить полную высоту зуба колеса.

В зависимости от вида производства и требуемой точности наиболее широкое применение имеют четыре основные группы червячных фрез:



цельные фрезы со шлифованным профилем, сборные фрезы с поворотными вставными рейками, цельные затылованные фрезы с иешлифованным профилем повышенной точности и твердосплавные червячные фрезы.

*Цельные фрезы со шлифованным профилем* применяют для обработки высокоточных цилиндрических колес с прямыми и косыми зубьями, червячных колес, шлицев и зубчатых колес в единичном и серийном производстве. Чистовые червячные фрезы изготавливают по ГОСТ 9324–80 (в ред. 1992 г.). Фрезы самой высокой точности класса ААА предназначены для обработки зубчатых колес 6-й степени точности (ГОСТ 1643–81) с модулем 1...10 мм. Цельные чистовые червячные фрезы общего назначения классов точности АА, А, В и С используют для обработки колес с модулем 1...14 мм соответственно 7, 8, 9 и 10 степеней точности. Черновые червячные фрезы изготавливают с пониженной точностью, в большинстве случаев с нешлифованным профилем зубьев. Цельные фрезы с модулем примерно до 10 мм имеют небольшие длину и наружный диаметр. У фрез этой группы длина фрезы практически равна наружному диаметру. Цельные фрезы, как правило, изготавливают односторонними.

*Червячные фрезы с поворотными вставными рейками* применяют главным образом в условиях массового производства. Эти фрезы имеют большую длину реек (до 200 мм), количество заходов 2 или 3, повышенную твердость реек (66...68 HRC), ширина зуба рейки увеличена до 20...25 мм, количество реек колеблется в пределах 10 – 17.

*Цельные червячные фрезы с нешлифованным профилем повышенной точности* отличаются от шлифованных тем, что после закалки профиль зубьев не подвергается механической обработке. Их точность по сравнению с фрезами со шлифованным профилем ниже и соответствует классу В. Фрезы с иешлифованным профилем по сравнению с цельными фрезами со шлифованным профилем имеют большее число переточек, большие задние и боковые углы, которые обеспечивают повышенный период стойкости, и более низкую стоимость.

*Твердосплавные червячные фрезы* изготавливают цельными и сборными с монокристаллическими твердосплавными рейками. У фрез с модулем свыше 10 мм твердосплавные пластины припаивают к зубу корпуса фрезы.

При обработке серого чугуна выкрашивание режущих кромок не наблюдается, поэтому ряд заводов применяют эти фрезы в серийном производстве. Твердосплавные фрезы применяют и для обработки стальных зубчатых колес малого модуля 1...2,5 мм. Эти колеса нарезают на специальных зубофрезерных станках при скорости резания 200...300 м/мин без охлаждения.

Для окончательной обработки закаленных зубчатых колес с твердостью 64 HRC и модулем 5...25 мм взамен шлифования или под прецизионное шлифование применяется специальная твердосплавная червячная фреза. Отличительной особенностью фрезы является отрицательный передний угол (до 30°). Твердосплавные пластины толщиной 6...8 мм припаивают.

*Зубофрезерные станки* (табл. 2) выпускают универсальными и производственными.

Соответственно оснащенные универсальные станки могут изготавливать цилиндрические одно-, двух- и многошлицевые зубчатые колеса с различными модификациями, червячные колеса, эвольвентные и прямозубые шлицевые валы с различными видами подачи и их комбинацией. Режимы резания можно изменять в широких пределах. Производственные станки используют для работы в крупносерийном и массовом производстве. Основные требования к этим станкам – обеспечение высокой производительности и точности.

Зубофрезерные станки выполняют с вертикальной и горизонтальной компоновкой. В современных станках с ЧПУ (рис. 9) вертикальной компоновки стол с заготовкой выполняют линейно неподвижным, что обеспечивает удобство загрузки станка и его автоматизации. Кроме линейную перемещений по осям X, Y, Z в этих станках выполняется управление вращением фрезерной головки А, фрезы В и стола станка С. При этом в отличие от обычных станков у этих станков сложные кинематические цепи заменены электронными связями и индивидуальными приводами, что позволяет упростить конструкцию станков, исключив ряд механизмов, повысить жесткость и точность изготовления деталей.

Станки с горизонтальной компоновкой применяют для нарезания зубчатых колес малого модуля до 3 мм или для нарезания зубьев и шлицев на длинных и тяжелых валах.

Основное время, т.е. при зубофрезеровании цилиндрических колес и шлицев:

2. Основные техничские характеристики зубофрезерных станков

Параметр	ОАО "Егорьевский станкозавод "Комсомолец"									
	53E20	53Д50Ф4	53А50	53А80	53А11	ЕЗ-106	ЕЗ-186	ЕЗ-100Д	ЕЗ-59	ЕЗ-60
Наибольший диаметр обрабатываемого колеса, мм	200	500	500	800	1250	400	500	320	320	800
Наибольший модуль, мм	5	10	10	10	16	10	14	8	12	12
Наибольшая длина перемещения фрезерного суппорта, мм	200	530	400	400	650	—	—	—	—	—
Частота вращения фрезерного шпинделя, мин <sup>-1</sup>	80...500	45...450	40...405	40...405	28...270	80...300	50...250	62...236	367	367

Параметр	Витебский станкозавод имени Коминтерна (Беларусь)					
	53В30П	ВС-Б30Ф4	53Д30ВФ2	ВС-Б30П	ВС-Б30Ф2	ВС-Б35П
Наибольший диаметр обрабатываемого колеса, мм	320	320	320	400	400	500
Наибольший модуль, мм	6	6	6	8	8	10
Наибольшая длина перемещения фрезерного суппорта, мм	220	220	220	220	250	220
Частота вращения фрезерного шпинделя, мин <sup>-1</sup>	50...500	120...400	50...400	80...600	80...600	80...630

Примечания:

1. Станок мод. 53Д50Ф4 с ЧПУ, остальные станки Егорьевского станкозавода с механическими связями.
2. Станки мод. ЕЗ-106, ЕЗ-186 и их модификации производят с автоматической загрузкой.
3. Станки мод. ЕЗ-100Д, ЕЗ-59, ЕЗ-60 работают дисковыми фрезами.
4. Станки мод. 53Д30ВФ2 и ВС-Б30Ф2 с ЧПУ, остальные станки Витебского станкозавода с механическими связями.

а) с осевой подачей

$$t_o = \frac{(b + l_1 + l_2)z}{nS_o k y}$$

где  $b$  – ширина зубчатого венца или длина шлицев, мм;  $l_1$  – величина врезания фрезы, мм;  $l_2$  – величина перебега фрезы, мм;  $z$  – число шлицев или зубьев обрабатываемого колеса;  $S_o$  – осевая подача червячной фрезы, мм/об;  $k$  – число заходов червячной фрезы;  $y$  – число одновременно обрабатываемых колес;  $n$  – частота вращения червячной фрезы, мм/об;

$$n = \frac{1000v}{d_{a0}\pi}$$

где  $v$  – скорость резания, м/мин;  $d_{a0}$  – внешний диаметр фрезы, мм;

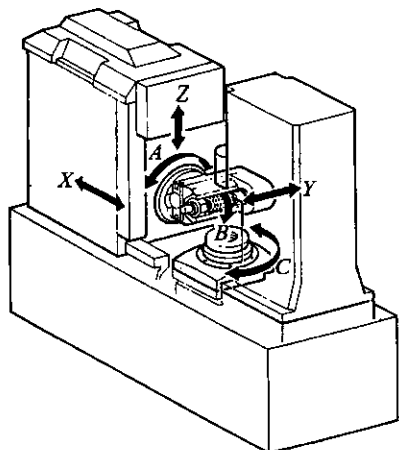


Рис. 9. Зубофрезерный станок с ЧПУ

б) с радиально-осевой подачей

$$i_0 = \left[ \frac{zh_1}{S_y n} + \frac{z(b+L_2)}{nS_0} \right] \frac{1}{ky},$$

где  $h_1 = h + (2..4)$  — величина радиального перемещения фрезы, мм;  $h$  — высота зуба или шлица, мм;  $S_0$  — радиальная подача, мм/об.

Величина врезания  $l_1$ , мм, и перебета  $l_2$ , мм, при обработке прямозубых цилиндрических колес или шлицев равны:

$$l_1 = \sqrt{d_0 h - h^2}, \quad l_2 = (2..4).$$

При обработке косозубых цилиндрических колес величины врезания  $l_1$ , мм, и перебета  $l_2$ , мм, определяются по формулам:

$$l_1 = \operatorname{tg} \gamma \sqrt{h \left( \frac{d_0}{\sin^2 \gamma} + d_a - h \right)},$$

$$l_2 = \frac{h - \cos \beta \operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg} \alpha},$$

где  $\gamma$  — угол установки фрезерного суппорта;  $d_a$  — диаметр вершины зубца обрабатываемого колеса, мм;  $\alpha$  — угол профиля зуба колеса;  $\beta$  — угол наклона зуба.

Скорость резания  $v$  (м/мин) при зубофрезеровании червячными фрезами методом обкатывания для различных металлов:

Сталь:		
до $\sigma_s = 5,88 \cdot 10^8$ Па .....	50...90	
свыше $\sigma_s = 5,88 \cdot 10^8$ Па .....	40...75	
Чугун серый:		
фрезерование:		
без охлаждения .....	25...35	
с охлаждением .....	50...70	
Бронза .....	50...70	

Скорость резания больше, чем подача, влияет на износ фрезы. С увеличением предела прочности при растяжении, содержания углерода, легирующих элементов в стали скорость резания снижается. Величина подачи (табл. 3) выбирается в соответствии с требованиями к шероховатости поверхности и точности обработки зубчатых колес. С уменьшением подачи качество поверхности улучшается.

Для колес среднего модуля наименьшая подача при чистовом зубофрезеровании равна примерно 1 мм/об, для малых модулей — примерно 0,5 мм/об. При дальнейшем уменьшении величины подачи шероховатость поверхности практически не уменьшается.

В табл. 3 указана подача для однозаходных фрез при обработке прямозубых колес. При фрезеровании косозубых колес табличная подача соответствует подаче по направлению зуба  $S_x$ , а осевая подача  $S_0$  будет меньше:  $S_0 = S_x \cos \beta$ .

**Нарезание зубьев на зубодолбежных станках** производят методом обкатывания круглыми долбиками и зубчатыми гребешками, и методом копирования специальными многорезцовыми головками. Нарезание зубьев круглыми долбиками является основным и наиболее распространенным методом, зубчатые гребешки применяют в основном при нарезании крупномодульных колес. Метод нарезания зубьев долбиками на зубодолбежных станках более универсален, чем нарезание на зубофрезерных станках червячными фрезами. На зубодолбежных станках методом обкатывания круглыми долбиками можно нарезать зубчатые колеса внешнего (рис. 10, а), внутреннего (рис. 10, б) зацепления с прямыми и косыми зубьями, с бочкообразной (рис. 10, в) и конической (рис. 10, з) формами зуба, многоспиральные колеса (рис. 10, д), колеса, лежащие вблизи большого фланца (рис. 10, е), зубчатые рейки (рис. 10, зс), шестеренные колеса (рис. 10, з),

### 3. Подачи при нарезании зубьев червячными фрезами

Операции	Модуль, мм			
	1,25..2,5	2,5..4	4..6	6..10
	Вертикальная (осевая) подача, мм/об			
Черновая	2..4	2,5..6	3..5,5	3..5
Черновая под шлифованием	1,5..4	2..5,5	2..5	2..4
Чистовая	0,3..1,0	0,8..1,2	1..1,6	1,2..2

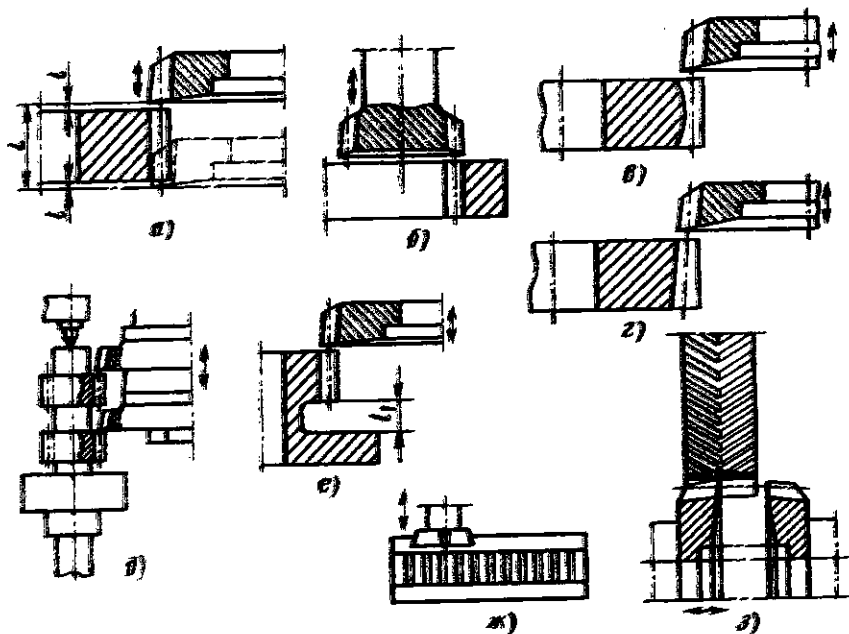


Рис. 10. Нарезание зубчатых колес круглыми долбками на зубодолбковых станках

короткие шлицевые валы и копии сложной формы. Зубодобление широко применяется для нарезания стандартных зубчатых колес высокого качества. На зубодолбковых станках долбками класса АА достигается 6-я степень точности колеса, класса А — 7-я и класса В — 8-я степень (по ГОСТ 1643-81). Параметр шероховатости поверхности профилей зубьев  $Ra = 0,8 \dots 1,6$  мкм.

Нарезание зубчатых колес круглыми долбками методом обкатывания основано на воспроизведении зацепления пары зубчатых колес. Одним элементом является нарезаемое колесо 2, другим — круглый долбак 1 (рис. 11) с заточенными зубьями. Нарезание зубьев долбик осуществляет строганием при возвратно-поступательном движении вдоль оси заготовки. Снятие стружки обычно производится при рабочем ходе долбика вниз по всей ширине зуба. При обратном ходе снятия металла не происходит, инструмент отводится от заготовки (или заготовка от инструмента), чтобы исключить повреждение режущих кромок при трении.

В процессе резания нарезаемое колесо и долбак, кроме возвратно-поступательного движения, непрерывно и согласованно вращаются, осуществляя движение обкатывания, для придания эвольвентного профиля зубьям нарезаемого колеса. В начале обработки долбак на

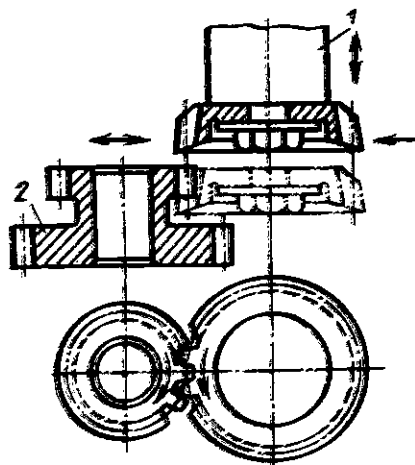


Рис. 11. Схема нарезания зубьев круглым долбиком

быстрой радиальной подаче подходит к заготовке, затем исключается рабочая подача (врезание). При достижении полной высоты зуба врезание прекращается, начинается крутовая подача — обкатывание. Обкатывание продолжается до тех пор, пока заготовка после врезания не совершит один полный оборот, после чего станок автоматически выключается.

*Нарезание прямозубых и косозубых колес.* Прямозубые колеса внешнего зацепления нарезают прямозубыми долбяками, которые в процессе резания перемещаются вдоль оси заготовки. Косозубые колеса нарезают косозубыми долбяками. Нарезание косозубых колес отличается от прямозубых колес тем, что долбяк 2 по мере перемещения получает дополнительный поворот от специального копира 1 (рис. 12) с винтовыми направляющими. Винтовые направляющие копира 1 должны иметь направление наклона, как у зубьев долбяка 2, а угол наклона, как у зубьев нарезаемого колеса 3. Величина шага  $H$  направляющих копира определяется по формуле

$$H = (T z_0) / z,$$

где  $T$  – шаг винтовой линии зубьев нарезаемого колеса;  $z_0$  – число зубьев долбяка;  $z$  – число зубьев нарезаемого колеса.

Для изготовления пары сопряженных колес требуются два копира: один – для колеса с левым наклоном зубьев, другой – для колеса с правым наклоном. Долбяк и заготовка вращаются в разных направлениях.

*Нарезание колес внутреннего зацепления.*

Обычно зубчатые колеса внутреннего зацепления нарезают круглыми долбяками (см. рис. 10, б). Прямозубые колеса нарезают прямыми долбяками, а косозубые – косозубыми. Долбяк и заготовка вращаются в одном направлении. Неправильный выбор числа зубьев долбяка при нарезании колес внутреннего зацепления может вызвать срезание вершинами зубьев долбяка уголков зубьев у колеса во время радиальной подачи или при обкатывании.

*Нарезание шевронных колес круглыми долбяками.* Зубья шевронных колес нарезают на специальных горизонтальных станках двумя спаренными долбяками (см. рис. 10, з). Разделительной канавки в середине заготовки не

требуется. Для нарезания обеих половин шевронного колеса долбяки должны изготавливаться комплектно – один правый и один левый одинакового диаметра. Правый долбяк нарезает венец с левым направлением зубьев, левый – с правым направлением зубьев. Правый и левый долбяки, работая попеременно, производят обработку до середины зубчатого венца, образуя непрерывный шевронный зуб.

*Нарезание колес зубчатыми гребенками.*

Нарезание колес зубчатыми гребенками осуществляют на зубострогальных станках вертикальной компоновки методом обкатывания. Стайки предназначены главным образом для нарезания крупномодульных прямозубых и косозубых цилиндрических колес, шевронных колес с разделительной канавкой в середине заготовки, цепных звездочек и т.д. Если установить на станке устройство для закрепления долбяка, то можно нарезать зубчатые колеса внутреннего зацепления с прямыми, косыми и шевронными зубьями.

Процесс нарезания зубьев гребенкой основан на зацеплении нарезаемого колеса с зубчатой рейкой, которая выполняет функции режущего инструмента. Заготовка 2, закрепленная на столе станка, имеет вращательное и поступательное движения вдоль гребенки 1, а зубчатая гребенка, установленная в суппорте, имеет возвратно-поступательное движение (рис. 13). Резание осуществляется при движении гребенки вниз, при ходе вверх гребенка отводится от заготовки. Эвольвентная форма зубьев колеса получается в результате обкатывания нарезаемого колеса вдоль зубьев гребенки, которые имеют прямолинейные режущие кромки. Обычно число зубьев гребенки меньше, чем число зубьев нарезаемого колеса поэтому обкатывание колеса по гребенке приходится

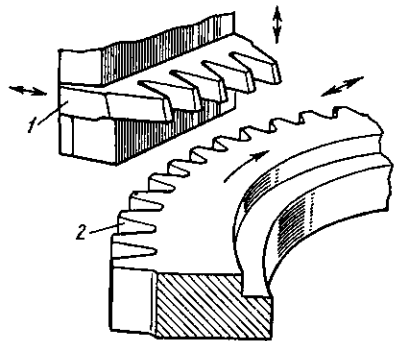


Рис. 13. Схема нарезания зубьев зубчатыми гребенками

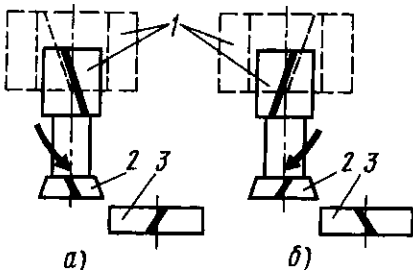


Рис. 12. Схема зубодолбления косозубых колес: а – с правым; б – с левым наклоном зубьев

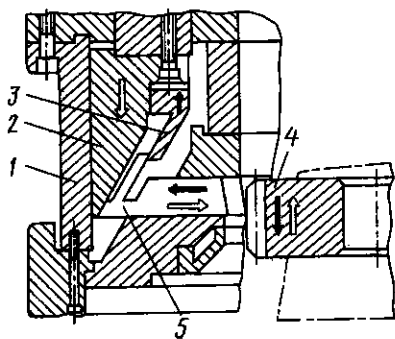


Рис. 14. Схема зубодобления резцовой головкой одновременно всех зубьев

осуществлять многократно. Точность обработки зубчатыми гребенками высокая, соответствует 3 – 5-й степени точности.

**Нарезание колес методом копирования.** Процесс зубодобления методом копирования многорезцовыми головками осуществляют на специальных высокопроизводительных зубодоблечных станках для нарезания прямозубых колес внешнего и внутреннего зацепления, шлицев, звездочек, копиров сложных форм в условиях массового производства. Все зубья колеса нарезают одновременно. Число резцов 5 (рис. 14) в головке равно числу зубьев нарезаемого колеса. Резцы заточены, профиль режущей кромки каждого резца соответствует форме впадины зуба. Во время резания резцовая

головка 1 неподвижна, а обрабатываемое колесо 4 совершает возвратно-поступательное движение в вертикальной плоскости внутри резцовой головки. Нарезание зубьев осуществляют за несколько рабочих ходов детали. Резцы в головке расположены радиально. Перед каждым рабочим ходом наружный конус 2 подводит резцы к центру на величину заданной подачи до тех пор, пока не будет достигнута полная высота зуба нарезаемого колеса. Внутренний конус 3 после каждого рабочего хода отводит резцы от заготовки, обеспечивая зазор при обратном ходе.

**Зуборезные долбки** изготовляют трех типов: дисковые с прямыми и косыми зубьями (рис. 15, а), чашечные с прямыми зубьями (рис. 15, б), хвостовые прямозубые и косозубые (рис. 15, в). **Дисковые долбки** обычно применяют для нарезания колес внешнего зацепления. Для повышения периода стойкости и точности обработки диаметр долбья выбирают максимально возможным.

**Чашечные долбки** применяют для обработки колес внешнего зацепления с выступающим буртиком или зубчатым вейцом. Долбки этого типа жестче, чем хвостовые, их рекомендуют применять для обработки более точных колес внутреннего зацепления. Хвостовые долбки обычно применяют для нарезания колес внутреннего зацепления. Круглые долбки имеют задние углы по вершине  $\alpha_в$  и

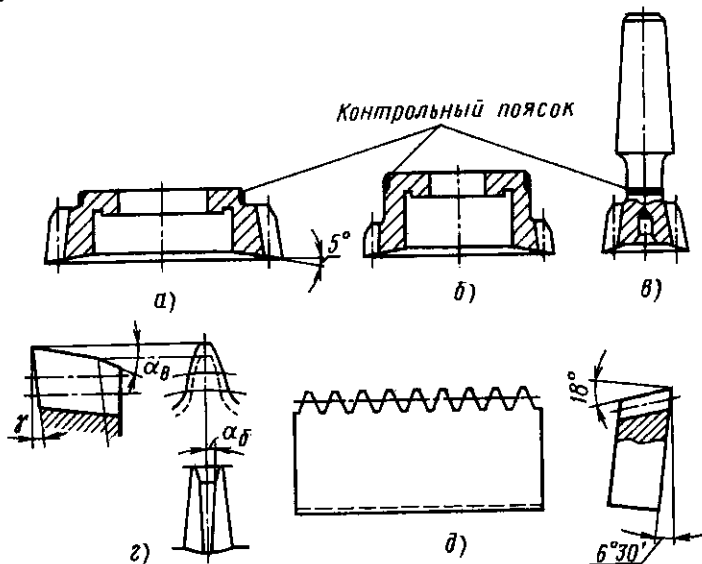


Рис. 15. Зуборезный инструмент:

а – дисковый долбьяк; б – чашечный; в – хвостовой; г – форма зуба долбьяка; д – зубчатая гребенка

## 4. Основные технические характеристики зубодолбежных станков

Параметр	ОАО "Егорьевский станкозавод "Комсомолец"			Витебский станкозавод имени Коминтерна (Беларусь)	
	ЕЗ-207	ЕЗ-211	5А140П	ВС-122	ВС-123 ВФ3
Наибольший диаметр обрабатываемого колеса, мм	250	320	500	250	200
Наибольший модуль, мм	6	6	8	5	4
Наибольшая длина перемещения шпинделя инструмента, мм	—	—	125	110	110
Частота движения инструментального шпинделя, дв. ход/мин	200...1200	105...880	55...560	200...1000	200...1000

## Примечания:

1. Станки Егорьевского станкозавода с механическими связями.
2. Станок мод. ВС-123ВФ3 с ЧПУ

боковым сторонам  $\alpha_6$  для устранения трения и передний угол  $\gamma$ , облегчающий условия резания (см. рис. 15, з). Зубья долбика имеют небольшой конус, поэтому после заточки толщина зубьев и внешний диаметр увеличиваются, профиль зубьев изменяется. Для повышения срока службы при нарезании зубчатых колес внешнего зацепления у нового долбика увеличивают диаметр делительной окружности.

*Косозубые долбики* для нарезания косозубых колес внешнего зацепления имеют тот же угол наклона, что и нарезаемое колесо, но направление наклона противоположное. При нарезании косозубых колес внутреннего зацепления косозубый долбик и нарезаемое колесо имеют одинаковое направление линии зуба. Число зубьев долбика для колеса внутреннего зацепления должно быть равно или несколько меньше числа зубьев сопряженной шестерни, а также не должно быть кратно числу зубьев нарезаемого колеса. Долбик с числом зубьев меньше 10 применять не рекомендуется. У долбиков высокой точности шлифуют узкий контрольный поясок (см. рис. 15, а, б, в) для определения точности установки долбика на шпинделе инструмента.

Профиль зубьев *зубчатой гребенки* (см. рис. 15, д) прямоугольный. Одной и той же прямоугольной гребенкой можно нарезать прямозубые и косозубые цилиндрические колеса. Шевронные колеса нарезают косозубыми гребенками. По мере переточки размер зуба рейки не меняется. Передний угол  $6^{\circ}30'$  обра-

зуется при ее установке на станке. Для обеспечения подрезания в основании зубьев нарезаемого колеса под шевингование или шлифование на вершине зубьев долбика и гребенки имеется протуберанс.

*Зубодолбежные станки* с вертикальной компоновкой проходного типа получили наибольшее распространение (табл. 4). Универсальный зубодолбежный станок с ЧПУ (рис. 16) обладает широкими технологическими возможностями и может обрабатывать цилиндрические зубчатые колеса и сектора внутреннего и внешнего зацепления непрерывным и прерывистым обкатным методами и прерывистым методом копирования. За счет управляемых

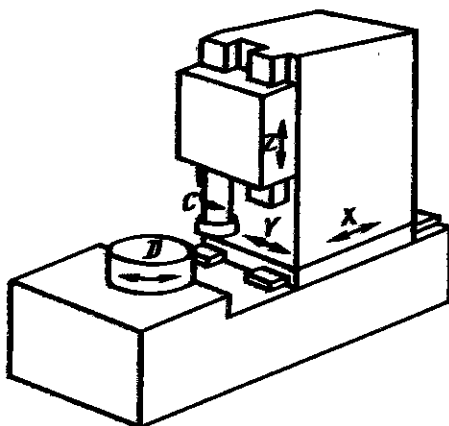


Рис. 16. Зубодолбежный станок с ЧПУ

осей *C*, *D* и *X* станок может работать как с радиальной подачей без обкатки и с обкаткой, так и со спиральной постоянной или уменьшающейся радиальной подачей. Согласованное движение осей *X*, *Y* и *Z* позволяет обрабатывать конусные и бочкообразные зубья, а также зубья муфточных зацеплений с поднутрением.

Зубодолбежные станки горизонтальной компоновки оснащают двумя долбяками и используют для нарезания шевронных зубчатых колес с диаметром до 3250 мм и модулем до 24 мм.

**Режим резания.** Режим резания при зубодолблении выбирают в зависимости от модуля, требуемого качества поверхности и точности, свойства материала заготовки и т.д. Основными параметрами режима резания при зубодолблении являются: скорость резания, круговая и радиальная подачи. С увеличением скорости резания период стойкости инструмента уменьшается. Малые круговые подачи улучшают качество поверхности и точность, время обработки увеличивается. При малом числе зубьев долбяка и нарезаемого колеса предпочтительнее выбирать малые подачи. Скорость резания при зубодолблении переменная, наибольшее ее значение соответствует среднему сечению зубчатого вента. Скорость резания для прямозубых  $v_{np}$  и косозубых  $v_k$  цилиндрических колес определяется по формулам:

$$v_{np} = (2Ln)/1000, n = (v_{np}1000)/(2L);$$

$$v_k = (2Ln)/1000 \cdot \cos\beta,$$

$$n = (v_k \cdot 1000 \cdot \cos\beta)/(2L),$$

где *L* — длина хода долбяка, мм; *n* — частота движения долбяка, дв.ход/мин.

Углеродистые (содержание углерода 0,3...0,5 %) и легированные стали обрабатывают на скорости резания в пределах 20...45 м/мин. При черновой обработке скорость резания уменьшается, а при чистовой — увеличивается. Круговая подача для указанных выше сталей до модуля 4 мм выбирается в пределах 0,2...0,35 мм/дв.ход, при модуле 4...8 мм — в пределах 0,3...0,50 мм/дв.ход. Величина круговой подачи при черновом нарезании зубьев увеличивается, при чистовом — уменьшается. Радиальная подача выбирается в пределах 0,01...0,05 мм/дв.ход, для чернового нарезания — больше, а для чистового — меньше.

**Шевингование цилиндрических зубчатых колес** производят дисковым шевером

(рис. 17, а) или шевер-рейкой (рис. 17, б). Наиболее распространенным методом чистовой обработки зубьев является шевингование дисковым шевером, на профиле зубьев которого выполнены мелкие зубчики 1 (рис. 17, в).

Этот метод является высокопроизводительным, экономичным и универсальным. Шевингование шевер-рейкой применяют ограниченно. Шевингование применяют для повышения точности зубчатого зацепления и уменьшения шероховатости поверхности на зубьях прямозубых и косозубых цилиндрических колес внешнего и внутреннего зацепления с бочкообразной и конической формами зубьев.

Посредством шевингования можно повысить точность изготовления на 1–2 степени точности. Точность шевингования зубчатых колес находится в пределах 5–7-й степени точности (ГОСТ 1643–81), параметр шероховатости поверхности  $Ra = 0,8...2,5$  мкм. Во время шевингования обрабатываемое колесо устанавливается свободно, вращение ему передается от шевера. Кинематическая связь между шевером и деталью отсутствует. Применяют четыре основных способа шевингования: параллельное, диагональное, тангенциальное и врезное, которые отличаются друг от друга направлением подачи, вращением обкатки и конструкцией шевера.

**Параллельное шевингование.** При параллельном шевинговании обрабатываемое колесо 1 (рис. 18, а) совершает возвратно-поступательное

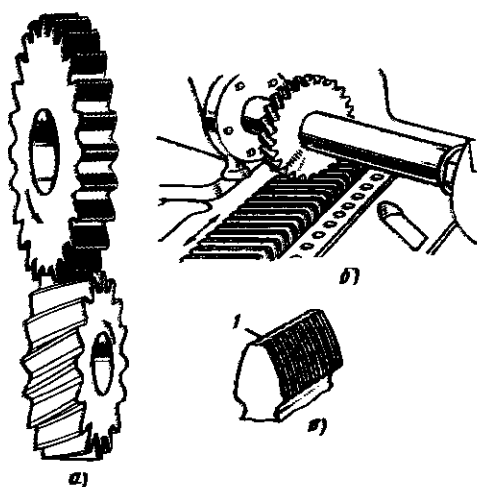


Рис. 17. Шевингование зубчатых колес: а — дисковым шевером; б — шевер-рейкой; в — зуб шевера



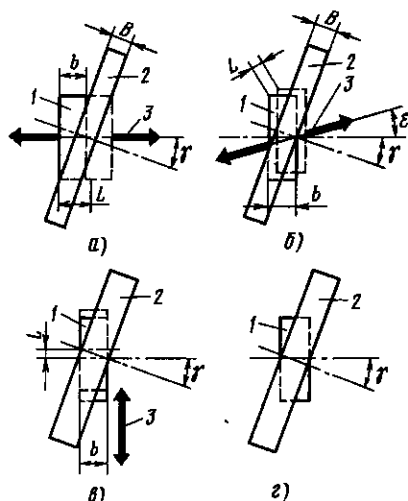


Рис. 18. Методы зубошвевингования:  
 а – параллельное; б – диагональное;  
 в – тангенциальное; г – врезное

движение  $Z$  параллельно своей оси. Ширина  $b$  зубчатого венца колеса  $1$  и ширина  $B$  шевера  $2$  не зависят друг от друга; этим способом можно шевинговать колеса практически с любой шириной зубчатого венца стандартным шеве-ром. Производительность станка и период стойкости шевера ниже, чем при других методах шевингования. Точка скрещивания осей колеса и шевера при резании находится постоянно в среднем сечении шевера (калибрующее сечение), поэтому в этой точке он изнашивается значительно быстрее, чем на краях. Длину хода  $L$  стола определяют по формуле

$$L = b + m_n,$$

где  $m_n$  – нормальный модуль.

Параллельное шевингование обычно применяют при ширине зубчатого венца свыше 50 мм, а также в мелкосерийном производстве.

**Диагональное шевингование.** При диагональным шевинговании обрабатываемое колесо  $1$  совершает возвратно-поступательное движение  $Z$  (см. рис. 18, б) под углом  $\varepsilon$  к оси заготовки. Ширина  $b$  зубчатого венца колеса, ширина  $B$  зуба шевера, угол скрещивания осей  $\gamma$  и угол диагонали  $\varepsilon$  связаны между собой следующим соотношением:  $\operatorname{tg} \varepsilon = (B \sin \gamma) / (b - B \cos \gamma)$ .

Практически угол диагонали в пределах  $30 \dots 40^\circ$  создает оптимальные условия резания и качество обрабатываемой поверхности. При угле диагонали до  $60^\circ$  можно использовать стандартные шеверы, при угле диагонали свыше  $60^\circ$  – специальные шеверы со смещенными зубчиками. Преимущество диагонального шевингования по сравнению с параллельным состоит в том, что перемещение заготовки под диагональным углом делает путь подачи короче, меньше, чем ширина зубчатого венца. С увеличением угла диагонали и ширины шевера время обработки сокращается, производительность станка повышается до 50 %. Длину хода  $L$  стола (мм) определяют по формуле

$$L = [(b \sin \gamma / \sin (\varepsilon + \gamma)) + (1 \dots 2)m_n]$$

**Тангенциальное шевингование.** При тангенциальном шевинговании подача  $Z$  (см. рис. 18, в) направлена перпендикулярно оси обрабатываемого колеса  $1$ . Шевер  $2$  должен быть шире, чем зубчатый венец колеса, а режущие зубчики смещены относительно друг друга и расположены по винтовой линии, чтобы заменить отсутствие продольной подачи при снятии стружки. Зубья шевера в продольном направлении имеют вогнутую форму (рис. 19, г), что обеспечивает соприкосновение боковых поверхностей по всей длине зуба и позволяет снимать одинаковый припуск. При небольшом припуске тангенциальное шевингование выполняется за один двойной ход, возможна обработка за несколько рабочих ходов с радиальной подачей. Длину хода  $L$  стола (мм) определяют по формуле  $L = b \operatorname{tg} \gamma$ .

Этот способ шевингования является более производительным, чем перечисленные выше, но шероховатость поверхности несколько хуже, его применяют для шевингования узких венцов и блочных колес с закрытыми венцами.

**Врезное шевингование.** При этом способе шевингования продольная подача отсутствует. Шевер  $2$  (см. рис. 18, г) к заготовке  $1$  перемещается радиально. Ширина шевера при врезном шевинговании, так же как при тангенциальном шевинговании, больше ширины зубчатого венца колеса, в продольном направлении зубья шевера имеют вогнутость, режущие зубчики расположены по винтовой линии. Этот высокопроизводительный способ осуществляется на специальных станках.

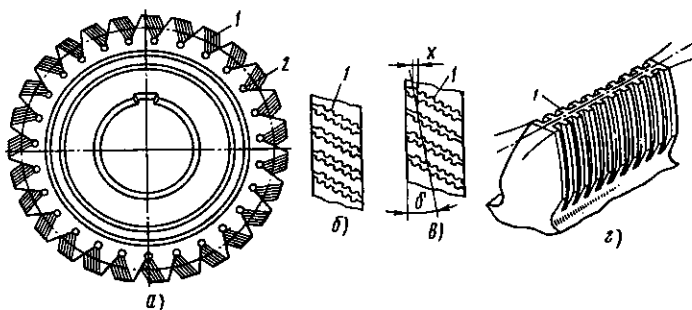


Рис. 19. Конструктивные элементы шевера:

*a* – дисковый шевер; режущие зубчики расположены: *б* – параллельно торцу, *в* – по винтовой линии, *г* – вогнутой форма зуба шевера

Дисковые шеверы по ГОСТ 8570–80 (в ред. 1990 г.) изготовляют двух типов и трех классов точности: при обработке зубчатых колес с числом зубьев более 40 – шеверы класса АА – для колес 5-й степени точности; класса А – для колес 6-й степени точности и класса В – для колес 7-й степени точности.

Тип 1 – шеверы со сквозными стружечными канавками модулей 1...1,75 мм, с номинальными делительными диаметрами 85 и 180 мм и углами наклона винтовой линии зубьев на делительном цилиндре 5, 10 и 15°. Тип 2 – шеверы с глухими стружечными канавками модулей 2...8 мм, с номинальными диаметрами 180 и 250 мм, углом наклона винтовой линии зубьев на делительном цилиндре 5 и 15°. Шевер каждого размера изготовляют с правым и левым направлениями линии зуба.

Дисковый шевер (см. рис. 19, *a*) имеет форму закаленного и шлифованного зубчатого колеса с прямыми и косыми зубьями с большим числом зубиков 1, расположенных на боковой поверхности зуба (см. рис. 19, *г*). Зубчики имеют режущие кромки для снятия стружки в процессе резания. Для параллельного и диагонального шевингования режущие зубчики 1 расположены параллельно торцу (см. рис. 19, *б*). При тангенциальном и врезном шевинговании режущие зубчики 1 смещены относительно друг друга на величину  $X$  и расположены по винтовой линии под углом  $\delta$  (см. рис. 19, *в*), а зубья шевера в продольном направлении имеют вогнутую форму (см. рис. 19, *г*). Режущие зубчики расположены по всей высоте зуба и заканчиваются у отверстия 2 (см. рис. 19, *a*) в основании зуба. Эти отверстия служат для свободного выхода гребенки при долблении канавок, а также для прохождения потока сма-

зочно-охлаждающей жидкости вместе с удаляемой мелкой стружкой.

Угол наклона линии зуба шевера выбирается в зависимости от угла скрещивания осей шевера и колеса. Диаметр шевера следует выбирать максимально возможным, особенно при обработке колес с малым числом зубьев. Отношение числа зубьев шевера к числу зубьев обрабатываемого колеса не должно быть целым числом.

Инструмент для нарезания зубьев под шевингование. Нарезание зубьев под шевингование обычно производят червячными фрезами или долбяками с модифицированной формой зубьев. Утолщение 1 (рис. 20) на головке зуба 2 инструмента служит для подрезания  $b$  профиля в ножке зуба обрабатываемого колеса 5, чтобы вершина зуба шевера в процессе резания свободно повертывалась во впадине зуба колеса. В ножке зуба режущего инструмента делается фланкированный участок 3 для снятия небольшой (0,03...0,06 мм) фаски 4 на головке зуба 5 обрабатываемого колеса. Это препятствует образованию заусенцев в процессе шевингования и забоин на вершине зуба при транспортировке.

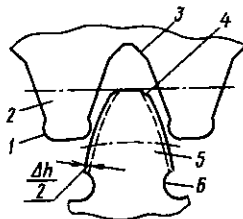


Рис. 20. Форма зуба фрезы и колеса

*Припуск под шевингование.* Величина припуска  $\Delta h/2$  под шевингование (см. рис. 20) зависит от модуля обрабатываемого колеса:

Модуль, мм ...	1	2	3	4	5	6	7	8
Припуск на толщину зуба								
$\Delta h$ , мм .....	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12

Чрезмерный припуск на шевингование снижает точность, стойкость инструмента и увеличивает время шевингования. Малый припуск может оставить необработанные участки на профиле зуба колеса. Величина припуска по межосевому расстоянию  $H$  (мм) при измерении в плотном зацеплении с измерительным колесом определяется по формуле  $H = \Delta h/2 \operatorname{tg} \alpha$ , где  $\alpha$  – угол профиля зуба. Припуск по межосевому расстоянию соответствует величине суммарной радиальной подачи, его используют при определении числа рабочих ходов стола.

*Зубошевинговальные станки* производят с горизонтальным и вертикальным расположением оси шевра и колеса. Станки с горизонтальным расположением используют для шевингования зубчатых колес среднего модуля с диаметром до 320 мм, ведущим элементом является шевр. На станках с вертикальной компоновкой обрабатывают крупномодульные колеса с диаметром до 800 мм, ведущим элементом является обрабатываемое колесо (табл. 5).

### 5. Основные технические характеристики зубошевинговальных станков

Параметр	ОАО "Егорьевский станкозавод "Комсомолец"		Витебский станкозавод имени Коминтерна (Беларусь)		
	5717С6	5717С5	5701	5Д702В	ВС-Е02ВФ2
Наибольший диаметр обрабатываемого колеса, мм	800	1250	125	320	320
Наибольший модуль, мм	12	12	1,5	8	8
Наибольшая ширина зубчатого венца, мм	—	—	40	125	135

Примечание. Станки мод. 5717С6 и 5717С5 с вертикальной осью заготовки.

*Режим резания.* Окружная скорость шевра выбирается в пределах  $v_0 = 90 \dots 120$  м/мин. С увеличением окружной скорости стойкость шевра уменьшается. По выбранной окружной скорости шевра определяют частоту вращения шевра  $n_{ш}$  ( $\text{мин}^{-1}$ ):

$$n_{ш} = (1000v_0) / (\pi m z_{ш}),$$

где  $z_{ш}$  – число зубьев шевра.

Частота вращения  $n$  обрабатываемого колеса определяется по формуле

$$n = n_{ш} \frac{z_{ш}}{z}.$$

Продольная подача выбирается в пределах  $S_{пр} = 0,15 \dots 0,5$  мм/об колеса. Хорошие результаты получают при  $S_{пр} = 0,25$  мм/об колеса. Минутная подача  $S_m$  (мм/мин) определяется по формуле  $S_m = S_{пр}n$  или, заменяя  $S_{пр} = 0,25$  мм/об, получим

$$S_m = 0,25 n_{ш} \frac{z_{ш}}{z}.$$

Число ходов стола зависит от величины снимаемого припуска, требуемой точности и качества предварительно обработанных колес. Практически суммарное число ходов стола колеблется в пределах 6 – 10, из них 2 – 4 калибрующих хода без радиальной подачи. Вертикальная подача выбирается в пределах 0,02...0,05 мм/дв.ход.

По сравнению с другими методами чистой обработки *зубошлифование* обеспечивает самую высокую точность (2 – 5-ю степень точности) и малый параметр шероховатости поверхности ( $Ra = 0,5 \dots 0,8$  мкм) на зубьях. Производительность шлифовальных станков ниже шевинговальных.

Однако шлифование позволяет устранить погрешности предварительной обработки и неизбежные деформации, полученные при закалке. Современные шлифовальные станки позволяют осуществлять профильную и продольную модификации зубьев колес для повышения их эксплуатационных показателей. Применяют два метода шлифования зубьев цилиндрических зубчатых колес: копирования и обкатывания с прерывистым и непрерывным делением.

*Шлифование методом копирования* (рис. 21, а) осуществляется профильным шли-

фовальным кругом. Эвольвентная или модифицированная форма профиля зуба на профильном шлифовальном круге обеспечивается правкой специальным алмазным роликом. Обрабатываемое колесо 2 в процессе шлифования, оставаясь неподвижным, совершает возвратно-поступательное движение, а вращающийся шлифовальный круг 1 перемещается вдоль зуба колеса, получает периодическую подачу на глубину шлифования и окончательно шлифует одну или обе стороны зубьев колеса одновременно.

На станках для профильного шлифования можно обрабатывать цилиндрические колеса с прямыми и косыми зубьями, внешнего и внутреннего зацепления. Достоинства метода: высокая точность обработки и производительность станка. Недостатки: сложная наладка и профилирование шлифовальных кругов для обработки косозубых колес.

*Шлифование методом непрерывного обкатывания абразивным червяком* (см. рис. 21, б) аналогично зубофрезерванию, где вместо червячной фрезы применяют абразивный червяк с реечным профилем. В процессе шлифования червяк 1, находясь в зацеплении с зубьями обрабатываемого колеса 2, в результате непрерывного обкатывания осуществляет формирование эвольвентного зуба. При движении детали вверх и вниз обрабатывается вся ширина зубчатого венца колеса. Достоинства метода: высокая производительность станка, особенно при обработке колес с модулем до 4...5 мм и высокая точность обработки.

При шлифовании методом обкатывания с прерывистым делением плоским кругом (см. рис. 21, в), когда применяется однопрофильный круг, шлифуется одна боковая сторона зуба колеса 2 наклонной прямолинейной (плоской) стороной шлифовального круга 1. Во время обработки шлифовальным кругом большого диаметра имеется только вращательное движение, продольная подача отсут-

ствует. Для образования эвольвентного профиля шлифуемое колесо совершает движение обкатывания от обкатного сектора. Станки обеспечивают высокую точность, но производительность низкая.

При шлифовании методом обкатывания с прерывистым делением двумя тарельчатыми кругами (см. рис. 21, г) однопрофильные тарельчатые шлифовальные круги 1 устанавливают под углом, равным  $0^\circ$ , или под углом зацепления. Если круги установлены под углом зацепления, метод шлифования имеет более короткий путь обкатывания и прост в достижении продольной и профильной модификаций зуба. Каждый круг обрабатывает одну боковую сторону зуба колеса. Обрабатываемое колесо 2 кроме возвратно-поступательного движения получает движение обкатывания через обкатный сектор аналогично шлифованию плоским кругом. При шлифовании двумя тарельчатыми кругами достигается высокая точность профиля, окружного шага и направления зуба в пределах 3 мкм. Параметр шероховатости поверхности  $Ra = 0,5$  мкм. Производительность станка низкая.

При шлифовании методом обкатывания с прерывистым делением двусторонним коническим кругом (см. рис. 21, д) профиль зубьев обрабатываемого колеса 2 обкатывается по прямому профилю шлифовального круга 1, воспроизводя зацепление обрабатываемого колеса с производящей рейкой 3. Движение обкатывания, состоящее из возвратно-поступательного движения колеса вокруг своей оси и продольного его перемещения от центра, осуществляется сменными колесами гитар деления и обката. Достоинства метода: высокая производительность станка и точность обработки, широкая универсальность и короткое время переналадки станка. Наиболее целесообразно этот метод применять для шлифования зубчатых колес с модулем свыше 4...5 мм.

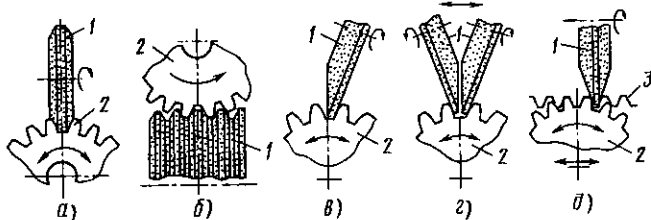


Рис. 21. Методы зубошлифования

### 6. Основные технические характеристики зубошлифовальных станков

Параметр	5Д831	5Д833
Наибольший диаметр обрабатываемого колеса, мм	125	320
Наибольший модуль, мм	2	6
Максимальная длина зуба, мм	100	180
Частота вращения шлифовального шпинделя, мин <sup>-1</sup>	2000	1500

Современные зубошлифовальные станки с ЧПУ имеют высокую статическую и динамическую жесткость, широкие технологические возможности и расширенный диапазон обработки параметров зубьев. Зона обработки полностью закрыта. Благодаря отсосу и сепарации масла в зоне обработки не образуется масляного тумана. Основные технические характеристики зубошлифовальных станков ОАО "Егорьевский станкозавод "Комсомолец" представлены в табл. 6.

**Зубохонингование** применяют для чистой отделки зубьев закаленных цилиндрических колес внешнего и внутреннего зацепления. Хонингование зубьев осуществляют на специальных станках.

Обработку можно производить двумя методами – зубчатыми хонами с внешним и внутренним зацеплением. При хонинговании зубчатым хонем 1 с внешним зацеплением (рис. 22, а) закаленное зубчатое колесо 2 вращается в плотном зацеплении при угле скрещивания осей  $\gamma = 10...15^\circ$ . Поджим детали к хону осуществляется пружинной силой 150...450 Н.

Зубчатое колесо, кроме вращения, совершает возвратно-поступательное движение вдоль оси. Направление вращения инструмента меняется при каждом ходе стола. Хонингование позволяет уменьшить параметр шероховатости поверхности до  $Ra = 0,32$  мкм, удалить забоины и заусенцы размером до 0,25 мм, снизить уровень звукового давления на 2...4 дБ и повысить долговечность зубчатой передачи.

### 7. Припуск и машинное время при зубохонинговании хонами с внутренним зацеплением

Обработка зубьев перед зубохонингованием	Припуск на сторону зуба, мм	Машинное время зубохонингования, мин
Фрезерование, закалка, шлифование	0,003...0,005	0,5...0,6
Фрезерование, шевингование, закалка	0,015...0,020	0,8...1,0
Фрезерование, закалка	0,025...0,030	1,0...1,2

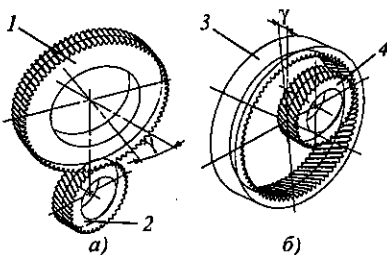


Рис. 22. Зубохонингование цилиндрических колес:

а – хонем с внешним зацеплением;  
б – хонем с внутренним зацеплением

В процессе хонингования погрешности в элементах зацепления устраняются незначительно при срезе металла порядка 0,01...0,03 мм на толщину зуба. Припуск под хонингование не оставляют. Частота вращения хона 180...200 мин<sup>-1</sup>, подача стола 180...210 мм/мин, число ходов стола четыре – шесть. Время хонингования зубчатого колеса автомобиля 30...60 с.

Срок службы монокорундовых хоней при обработке зубчатых колес коробки передач автомобиля – 1500 – 3000 деталей. Зубчатые колеса, имеющие забоины и заусенцы перед хонингованием, целесообразно обкатывать на специальном станке или приспособлении между тремя накатниками под нагрузкой для устранения погрешностей профиля зубьев.

Хонингование зубчатым хонем с внутренним зацеплением является более современным и производительным методом. Большой коэффициент перекрытия при зацеплении хона 3 (рис. 22, б) с обрабатываемым колесом 4 способствует исправлению погрешностей зацепления и повышению точности обработки. Прочность зубьев хона с внутренними зубьями примерно на 60 % выше, чем хона с внешними зубьями, что позволяет более эффективно производить обработку со снятием значительных припусков (табл. 7). Достигается параметр шероховатости поверхности зубьев  $Ra = 0,1...0,2$  мкм.

Основные техничские характеристики зубохииниговальиого станка Витебского станкозавода имени Коминтерна (Беларусь) модели 5Б913:

наибольший диаметр обрабатываемого колеса, мм .....	320
наибольшая ширина зубчатого венца, мм .....	1258
частота вращения инструмента, мин <sup>-1</sup> .....	160...1000

### ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОНИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Наибольшее распространение в промышленности получили три метода нарезания прямозубых конических колес: зубострогание двумя резцами, зубофрезерование двумя дисковыми фрезами и круговое протягивание зубьев резцовыми головками-протяжками.

Нарезание конических колес с прямыми зубьями *двумя резцами* производят на зубострогальных станках методом обкатывания. В процессе обработки на этих станках осуществляется зацепление зубьев обрабатываемого колеса 3 с воображаемым производящим колесом 2 (рис. 23). Резцы 1 представляют собой зуб производящего колеса, а прямолинейные режущие кромки резцов являются сторонами смежных зубьев производящего колеса.

Этот метод универсален, обеспечивает высокое качество обработки простым и дешевым инструментом. Производительность станка относительно низкая. Метод широко применяется в единичном и серийном производстве. На станках нормальной точности достигается 7, 8-я степень точности, а на станках повышенной точности — 6, 7-я (ГОСТ 1758 — 81).

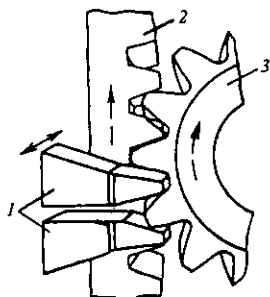


Рис. 23. Схема нарезания конических колес на зубострогальном станке методом обкатывания

*Зубофрезерование двумя дисковыми фрезами* методом обкатывания характеризуется высокой производительностью благодаря применению многолезвийного инструмента, работающего на высоком режиме резания. Нарезание зубьев производят из целой заготовки. Производительность станков при работе двумя дисковыми фрезами в четыре раза выше, чем при зубострогании двумя резцами.

Обработка ведется двумя дисковыми фрезами 1 (рис. 24), наклоненными друг к другу и расположенными в одной впадине зуба колеса 2. Резцы 3 одной фрезы входят в промежутки между резцами другой фрезы. Каждая фреза обрабатывает свою сторону зуба колеса. Во время обработки фрезы вдоль зуба не перемещаются, поэтому дно впадины зуба имеет слегка вогнутую поверхность. По концам зубьев глубина впадины стандартная, а в середине несколько глубже.

Для получения бочкообразности по длине зуба режущие кромки фрез располагают под углом к оси вращения. Описывая во время вращения коническую поверхность, режущие кромки 4 по концам зуба снимают больше металла, чем в середине. Величина бочкообразности определяется углом поднутрения режущих кромок и выбирается в зависимости от требуемой длины пятна контакта на зубьях.

Зубчатые колеса, нарезанные двумя дисковыми фрезами, можно заменять колесами, обработанными строганием двумя резцами. Этот высокопроизводительный метод имеет широкое распространение в серийном и крупносерийном производстве.

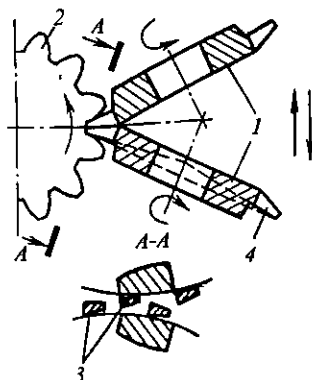


Рис. 24. Схема нарезания зубьев прямозубых конических колес двумя дисковыми фрезами

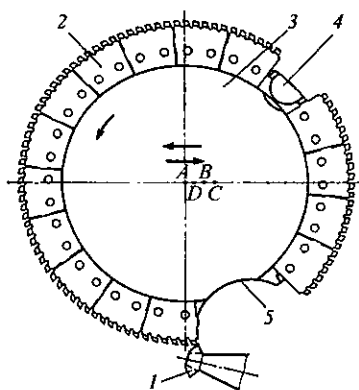


Рис. 25. Схема кругового протягивания зубьев

**Круговое протягивание зубьев** разработано специально для обработки прямозубых конических колес дифференциала легковых и грузовых автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных машин в условиях массового и крупносерийного производства. Конические колеса для устранения подрезки имеют круговой профиль и специальную форму заготовки, они не взаимозаменяемы с колесами, нарезанными зубостроганием и зубофрезерованием.

При круговом протягивании заготовка 1 неподвижна (рис. 25), а режущий инструмент 3 вращается с постоянной угловой скоростью и совершает возвратно-поступательное движение параллельно образующей конуса впадин конического колеса. За один оборот инструмента, который происходит за 2...5 с, полностью обрабатывается впадина зуба колеса.

Режущим инструментом является специальная резцовая головка-протяжка 3 большого диаметра с радиально расположенными резцами, объединенными в блоки 2.

В начале цикла вращающаяся протяжка перемещается из точки А в точку В, резцы врезаются в заготовку на небольшую глубину.

Когда центр протяжки достигнет точки В, продольная подача прекращается, резание происходит за счет радиального подъема резцов протяжки до достижения полной глубины впадины зуба, после чего протяжка перемещается в точку С. Во время прохождения протяжки участка 4 происходит снятие фаски резцом с боковых поверхностей и дна впадины зуба на внешнем торце.

При перемещении протяжки в обратном направлении из точки С в точку D осуществляется чистовое резание. Каждый чистовой резец профилирует определенный участок на поверхности зуба. Деление заготовки на зуб производится с помощью делительного механизма при перемещении протяжки из точки D в точку А, во время прохождения безрезцового участка 5.

Прямозубые конические колеса с модулем до 5 мм нарезают за одну операцию комбинированной резцовой головкой-протяжкой, а свыше 5 мм за две операции — черновую и чистовую с использованием соответственно протяжек для чистовой и черновой обработки.

Точность прямозубых конических колес при нарезании методом кругового протягивания несколько ниже (8, 9-я степень по ГОСТ 1758-81), чем при обработке другими методами, однако эта точность достаточна для зубчатых колес дифференциалов.

**Зубострогальные резцы** (ГОСТ 5392-80 (в ред. 1987 г.)) применяют для чистовой обработки прямозубых конических колес с модулем 0,3...20 мм (рис. 26). Резцы изготовляют четырех типов: 1 — длиной  $L = 40$  мм; 2 —  $L = 75$  мм; 3 —  $L = 100$  мм; 4 —  $L = 125$  мм. Чистовые резцы имеют призматическую форму с резбовыми отверстиями, к резцедержателям резцы крепятся двумя винтами. База резца имеет клиновую опорную плоскость с углом  $\delta$ .

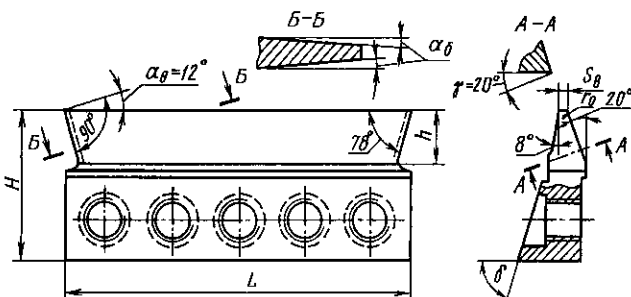


Рис. 26. Зубострогальный резец

Для резцов типа 1  $\delta$  равно 70 и 73°, типов 2 и 3 – 73°, типа 4 – 75°. Режущая кромка резца прямолинейная, угол профиля  $\alpha = 20^\circ$ . Высота режущей части  $h$  выбирается несколько больше высоты зуба обрабатываемого колеса, чтобы полностью обработать профиль зуба. Ширина носика резца  $S_b \approx 0,4 m_{re}$  должна быть не менее половины ширины дна впадины у внешнего конца зуба и не более ширины дна впадины у внутреннего конца. Радиус закругления резца на рабочей стороне профиля соответствует  $r_0 \approx 0,3 m_{re}$ . Высота  $H$  для резцов типов: 1 – 27 мм; 2 – 33 мм; 3 – 43 мм; 4 – 60 и 75 мм.

Резцы изготавливают из быстрорежущей стали, при длине более 40 мм допускается сварная конструкция. Державку резцов изготавливают из сталей 45 или 40X твердостью 35...40 HRC. Твердость резцов цельных и режущей части сварных резцов 62...65 HRC. Параметр шероховатости поверхности рабочей стороны профиля резцов не должен превышать  $Ra = 0,32$  мкм.

Черновые резцы не стандартизованы. В единичном и мелкосерийном производстве чистовые резцы используют как черновые для чернового нарезания зубьев методом врезания за несколько проходов на пониженном режиме резания.

Дисковые фрезы (головки зуборезные) (ГОСТ 24904–81 (в ред. 1987 г.)) применяют для изготовления прямозубых колес с модулем 0,5...12 мм. Дисковые фрезы сборной конструкции диаметром 150, 278 и 450 мм. Фрезы диаметром 150 мм предназначены для нарезания

конических колес с модулями от 0,5 до 3 мм, диаметром 278 мм с модулями от 1,5 до 8 мм и диаметром 450 мм – от 3 до 12 мм. Комплект фрез состоит из праворежущей (нижней) фрезы, которая вращается против часовой стрелки, если на нее смотреть с лицевой стороны, и леворежущей (верхней) фрезы, вращающейся по часовой стрелке.

Резцы фрез изготавливают из быстрорежущей стали твердостью 62...65 HRC; корпус, диски и опорные кольца – из стали 40X или ХВГ твердостью 40...45 HRC.

На рис. 27, а показан общий вид дисковой фрезы с  $d_0 = 278$  мм. Затылованные резцы 3 устанавливаются в корпус 4 и закрепляют диск 2 с пазами. В фрезе с  $d_0 = 150$  мм резцы закрепляют двумя винтами. На шпиндель зубофрезерного станка фрезы устанавливают на коническую поверхность б и опорный торец 5. Фрезу со шпинделя станка снимают с помощью винтов 1. Дисковые фрезы диаметром 150 и 278 мм на шпинделе станка закрепляют одним центральным винтом, фрезы диаметром 450 мм – четырьмя винтами.

Для нарезания конических колес с бочкообразной формой зуба у резцов предусмотрен угол поднутрения  $\beta$  (рис. 27, б), равный 0; 1°30'; 2°; 3° и 5°. С увеличением угла поднутрения длина пятна контакта на зубьях колеса уменьшается. Радиус закругления вершины резца  $r_0$  зависит от ширины носика, и может быть принято  $r_0 = (0,5...0,4) S_b$ . Высота режущей части  $h$  должна быть больше высоты зуба обрабатываемого колеса на 2...3 мм.

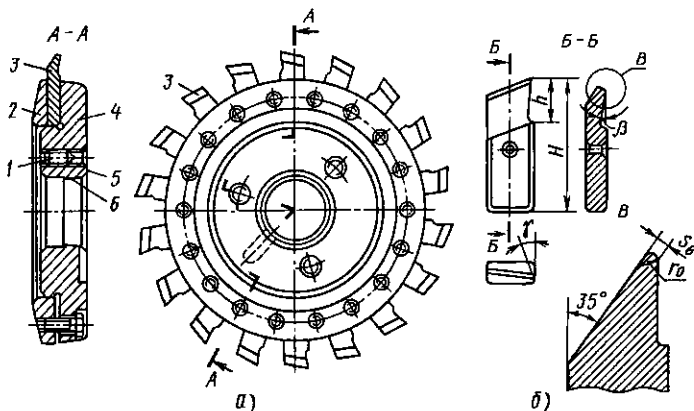


Рис. 27. Дисковая фреза для нарезания прямозубых колес: а – общий вид фрезы; б – резец



Зуборезные головки-протяжки изготовляют трех номинальных диаметров: 406,4; 533,4 и 635 мм и трех типов: комбинированные, чериовые и чистовые. Комбинированные зуборезные головки-протяжки применяют для окончательной обработки зубьев конических колес с модулем до 5 мм за один установив в целой заготовке. Головки этого типа состоят из чериовых, получистовых и чистовых резцов, и двух безрезцовых промежутков, один для установки фасочного резца, другой для деления заготовки на зуб.

Чериовые зуборезные головки-протяжки состоят из чериовых резцов, вместо фасочного резца установили дополнительный сегмент. Чериовая головка-протяжка в процессе резания не совершает движения подачи на заготовку, резание достигается благодаря подъему чериовых резцов в радиальном направлении.

Чистовые зуборезные головки-протяжки имеют получистовые и чистовые резцы, и два безрезцовых промежутка соответственно для установки фасочного резца и деления. Полу-чистовые резцы имеют подъем в радиальном направлении. При работе получистовых и чистовых резцов заготовка (инструмент) совершает линейное перемещение.

Режим резания должен обеспечивать требуемую производительность и качество обработки при оптимальном периоде стойкости режущего инструмента. Режим резания при обработке прямозубых конических колес выбирают в зависимости от многих факторов. Главные из них: применяемый метод обработки, модуль колеса, ширина зубчатого венца, обрабатываемый материал, материал режущего

инструмента, конструкция режущего инструмента.

При иарезании зубьев на зубострогальных станках скорость резания (м/мин)

$$v = \frac{2L_{p,x}n}{1000},$$

где  $L_{p,x}$  – длина рабочего хода резца,  $L_{p,x} = b + (6...9)$ , мм;  $n$  – частота движения, дв.ход/мин. Основное время (мин) при зубострогании определяют по формуле

$$t_o = \frac{t_z z}{60},$$

где  $t_z$  – подача-время обработки одного зуба, с/зуб;  $z$  – число зубьев обрабатываемого колеса.

Рекомендуемые режимы резания при обработке цементуемых сталей с твердостью 156...207 НВ зубострогальными резцами из быстрорежущей стали приведены в табл. 8.

При иарезании зубьев на зубофрезерных станках скорость резания (м/мин)

$$v = \frac{\pi D_\phi n}{1000},$$

где  $D_\phi$  – наружный диаметр фрезы, мм;  $n$  – частота вращения фрезы,  $\text{мин}^{-1}$ .

Основное время (мин) при комбинированном методе зубофрезерования конических колес

$$t_o = \frac{(t_{ap} + t_{обх} + t_{в,x})z}{60},$$

### 8. Подачи и скорости резания при иарезании зубьев на зубострогальных станках

Частота движения, дв.ход/мин	Ширина зубчатого венца, мм	Скорость резания, м/мин	Подача $t_s$ , с/зуб, при модуле, мм										
			1,5	1,75	2	2,5	3	3,5	4	5	6	7	8
352	12	14	12	12	12	14	16	19	–	–	–	–	–
293	20	16	14	14	14	16	19	22	22	–	–	–	–
256	25	18	–	–	–	19	22	25	25	29	–	–	–
224	30	18	–	–	–	–	25	25	29	32	32	–	–
196	38	20	–	–	–	–	–	19	22	22	25	29	32
171	45	20	–	–	–	–	–	–	25	25	29	32	42
142	50	18	–	–	–	–	–	–	–	32	32	42	42
123	60	18	–	–	–	–	–	–	–	–	42	50	50
101	75	18	–	–	–	–	–	–	–	–	–	60	60

Пр и м е ч а н и е. При выделенных подачах обработку ведут в две операции – черновую и чистовую, при чистовой обработке скорость резания можно увеличить в 1,2...1,5 раза.

где  $t_{вр}$  – время врезания, с/зуб;  $t_{обк}$  – время обкатывания, с/зуб;  $t_{в.х}$  – время вспомогательного хода (подвод и отвод стола, деление заготовки на зуб, возврат люльки станка), с/зуб. Время врезания (с/зуб) можно определить по формуле

$$t_{вр} = \frac{(h_{вр} + 2)60}{S_{вр}z_{\phi}n}$$

где  $S_{вр}$  – подача врезания на резец, мм;  $z_{\phi}$  – число резцов фрезы;  $h_{вр}$  – глубина врезания на внешнем торце зуба, мм.

В современных конструкциях зубофрезерных станков время обкатывания и врезания приблизительно равны, поэтому можно принять  $t_{обк} = t_{вр}$ ;  $t_{в.х} = 2 \dots 4$  с/зуб.

Если обработку производят только методом врезания, то из формулы основного времени для комбинированного метода исключают  $t_{обк}$ , а при обработке только обкатыванием –  $t_{вр}$ . При этом время обкатывания (с/зуб) определяют по формуле

$$t_{обк} = \frac{\theta 60}{S_{обк}}$$

где  $\theta$  – угол качания люльки, °;  $S_{обк}$  – подача при обкатывании, °/мин.

Рекомендуемые подачи врезания и скорости резания в зависимости от твердости обрабатываемого материала приведены в табл. 9.

При круговом протягивании скорость резания  $v$ , м/мин:

$$v = \frac{\pi D_{\phi} 60}{1000 t_z}$$

где  $D_{\phi}$  – диаметр круговой протяжки, мм.

### 9. Подачи врезания и скорости резания при нарезании зубьев на зубофрезерных станках

Твердость по Брикеллю НВ	Подача врезания на резец $S_{вр}$ , мм	Скорость резания $v$ , м/мин
160...190	0,125...0,100	61...51
190...220	0,100...0,075	51...44
220...270	0,075...0,050	44...38

Скорость резания при обработке прямозубых конических колес находится в пределах  $v = 22 \dots 30$  м/мин, она кинематически связана с временем цикла обработки.

Частота вращения,  $\text{мин}^{-1}$ , круговой протяжки

$$n = \frac{60}{t_z}$$

Рекомендуемые подача и скорость резания при нарезании прямозубых конических колес методом кругового протягивания приведены в табл. 10.

Станки для нарезания прямозубых конических колес ЗАО "Саратовский завод тяжелых зуборезных станков" приведены в табл. 11.

### 10. Подачи и скорость резания при нарезании зубьев на зубопротяжных станках

Внешний окружной модуль, мм	Скорость резания, м/мин	Подача, с/зуб
3...4	33...50	2...3
4...5	25...33	3...4
5...6	20...30*	4...5
6...8	16...24*	5...6,5

\* Меньшие скорости резания соответствуют обработке протяжками с диаметром 533 мм, а большие – с диаметром 635 мм.

### 11. Основные технические характеристики станков для нарезания прямозубых конических колес

Параметр	Зубострогальные						Зубофрезерные			Зубопро-тяжные	
	5236П	5С276П	5С286П	5Е283	5Т2М2	5Т23В	5С237	5С267П	5С277П	5245	5С268; 5С269
Наибольший диаметр обрабатываемого колеса, мм	125	500	800	1600	3200	125	125	320	500	180	320
Наибольший модуль, мм	2,5	10	20	30	40	1,5	2,5	6	12	5	8
Наибольшая ширина зубчатого венца, мм	20	80	150	270	500	16	20	50	80	25	50
Частота движения, дв.ход/мин или частота вращения, $\text{мин}^{-1}$	160...800	42...400	28...270	17...27	4...51	210...820	65...320	23...153	20...80	9,3...30	30

Различают несколько основных технологических способов *чистового нарезания зубьев гипойдных и конических колес*.

*Двойной двусторонний способ* — обе стороны зубьев шестерни и колеса нарезают одновременно обычно из целой заготовки. Необходимы только две резцовые головки — одна для нарезания зубьев шестерни, другая — для колеса. Ширина дна впадины зубьев шестерни и колеса постоянная по длине зуба, заготовки имеют специальную форму. Этим высокопроизводительным способом может быть достигнута точность 7–9-й степени (ГОСТ 1758–81).

*Двусторонний способ* — обе стороны зубьев колеса (выпуклую и вогнутую) нарезают одновременно двусторонней резцовой головкой. Ширина дна впадины постоянная, она определяется шириной развода резцов головок. Двусторонний способ широко применяют для нарезания зубьев колеса в массовом и серийном производстве с точностью 6–8-й степени.

*Односторонний (поворотный) способ* — каждую сторону зубьев нарезают в отдельности двусторонней резцовой головкой, развод резцов которой меньше ширины дна впадины зуба. После обработки одной стороны зуба расцепляют кинематическую цепь станка и поворачивают заготовку вокруг своей оси для нарезания противоположной стороны зуба. Для каждой стороны зуба требуется отдельная наладка станка. Производительность обработки при этом способе невысокая. Применяют его для нарезания зубьев шестерни и колеса в мелкосерийном производстве, а также для колес с большой шириной зубчатого венца с целью устранения одновременного участия в резании наружных и внутренних резцов. Точность обработки 8, 9-я степень.

*Способ постоянных установок* — каждую сторону зуба шестерни нарезают в отдельности односторонними резцовыми головками: вогнутую сторону — головками с наружными, выпуклую — головками с внутренними режущими. Требуются различные наладки станка для нарезания каждой стороны зуба. Этот способ применяют в основном для нарезания зубьев шестерен высокого качества с точностью 6–8-й степеней. В массовом производстве для обработки каждой стороны зуба применяют отдельный станок, в серийном производстве нарезание производят на одном станке с переналадкой.

*Резцовые головки* изготавливают по метрической (ГОСТ 11902–77 (в ред. 1981 г.)), ГОСТ

11903–77 (в ред. 1981 г.) и дюймовой систем. Различают резцовые головки цельные и со вставными режущими. Резцовые головки с номинальными диаметрами 20...80 мм и 0,5...2 дюйма изготавливают цельными, их применяют для нарезания мелко модульных колес. Головки, номинальный диаметр которых 100 мм, 3,5 дюйма и выше, имеют сборную конструкцию и применяются для нарезания гипойдных и конических колес среднего и крупного модуля.

Для чернового нарезания зубьев используют два типа резцовых головок: двусторонние и трехсторонние.

*Двусторонние головки* (рис. 28) имеют наружные 1 и внутренние 2 режущие, расположенные в пазах корпуса 3 поочередно. Режущие в головке регулируют клиньями 4 с помощью винтов 5, что позволяет устанавливать режущие кромки резцов относительно оси вращения с высокой точностью. Выверку осуществляют относительно базовых резцов — наружного 11 и внутреннего 13, клинья которых закреплены штифтами.

Винты 7 для крепления резцов расположены под углом  $10^\circ$  относительно опорного торца. При затяжке винта создается сила, направленная вдоль оси головки, которая стремится поджать режущие кромки к опорным поверхностям корпуса без дополнительного постукивания режущих кромки. К корпусу головки привернуто закаленное кольцо 8, которое воспринимает нагрузки, действующие на режущую кромку в осевом направлении.

На шпиндель зуборезного станка резцовую головку устанавливают по посадочному конусу 12 с опорой на торец 9 и закрепляют четырьмя винтами, которые устанавливают в отверстия 6. Головку со станка снимают винтами 14 (на рис. 28 показаны резьбовые отверстия).

Для уменьшения деформации корпуса, улучшения центрирования и повышения точности установки головки на шпиндель станка в ней со стороны опорного торца выполняют кольцевую канавку 10.

*Трехсторонние черновые резцовые головки* применяют только при работе методом врезания в условиях массового и крупносерийного производства. Они имеют три типа режущих: наружные, внутренние и средние. Наружные и внутренние режущие предназначены для обработки только боковых сторон зуба и не касаются дна впадины. Средние режущие обрабатывают только дно впадины зуба, их количество равно половине общего числа резцов.

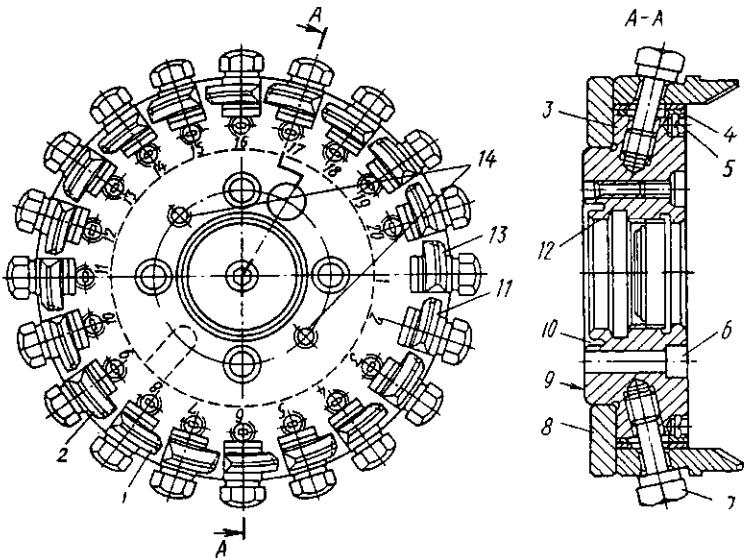


Рис. 28. Черновая резцовая головка

Чистовые резцовые головки могут быть двусторонними и односторонними, праворежущими и леворежущими. Двусторонние чистовые резцовые головки применяют в основном для чистового нарезания зубьев колеса. В единичном и мелкосерийном производстве чистовые двусторонние резцовые головки можно использовать как черновые. Полную высоту зуба в таких случаях целесообразно нарезать за несколько рабочих ходов при более низком режиме резания, чем при чистовом нарезании.

Резцовые головки-протяжки предназначены для чистового нарезания зубьев колес полуобкатных передач методом копирования. Их изготавливают сегментного типа и со вставными резцами

Режим резания. При нарезании конических колес с круговыми зубьями методами обкатывания, врезания и комбинированным скоростью резания (м/мин)

$$v = \frac{\pi D_{p,r} n}{1000},$$

где  $D_{p,r}$  – номинальный диаметр резцовой головки, мм;  $n$  – частота вращения резцовой головки,  $\text{мин}^{-1}$ .

При обработке методом копирования скорость резания

$$v = \frac{\pi D_{p,r} n}{1000}; \quad n = \frac{60}{t_z},$$

где  $t_z$  – подача (время обработки одного зуба), с/зуб.

## 12. Подачи, с/зуб, при черновом нарезании зубьев гипондных и конических колес

Окружной модуль, мм	Ширина зубчатого венца, мм	Метод врезания	Метод обкатывания		
		Колесо*	Колесо и шестерня	Шестерня	Гипондная шестерня
			св. 2:1	от 1:1 до 2:1	3:1 и выше
3,0	19	8	17	17	17
3,5	24	10	17	18	20
4,0	31	11	18	22	26
5,0	35	12	23	25	34
6,0	41	14	30	34	39
7,0	45	17	34	45	51
8,0	50	20	45	51	57
9,0	54	23	51	57	64
10,0	57	27	57	64	71

\* При нарезании зубьев на специальных зуборезных станках 5С272 и 5281 табличные значения подач следует уменьшить, умножив их на коэффициент 0,75.

Примечание. Приведенные в таблице подачи рекомендуются для обработки заготовок из легированных сталей, имеющих твердость 156...207 НВ и предел прочности при растяжении  $\sigma_b = 549...686$  МПа, со скоростью резания  $v = 38...43$  м/мин.

Основное время (мин) при нарезании конических колес с круговыми зубьями

$$t_0 = \frac{t_z z}{60},$$

где  $z$  — число зубьев обрабатываемого колеса.

Для раздельного чернового и чистового нарезания зубьев конических и гипоидных колес в табл. 12, 13 приведены подачи на обработку одного зуба, которые включают

время на резанье, холостые ходы и деление заготовки на зуб.

При нарезании зубьев шестерен и колес 5, 6-й степени точности подачи, указанные в таблице, необходимо увеличить на 10...15 %.

Зуборезные станки для нарезания конических и гипоидных передач с криволинейными зубьями ЗАО "Саратовский завод тяжелых зуборезных станков" приведены в табл. 14.

### 13. Подачи, с/зуб, при чистовом нарезании зубьев гипоидных и конических колес

Окружной модуль, мм	Ширина зубчатого венца, мм	Колесо* <sup>2</sup> (метод копирования)	Метод обкатывания					
			Колесо двусторонний или односторонний способ)	Шестерня при передаточном числе пары				Гипоидная шестерня (способ постоянных установок)
				от 1:1 до 2:1		3:1 и выше		
				Односторонний способ		Способ постоянных установок		
3,0	19	4	14	21	23	14	18	18
3,5	24	5	16	23	24	16	19	20
4,0	31	5	19	25	29	19	22	26
5,0	35	6	23	32	37	22	26	30
6,0	41 <sup>*1</sup>	6	30	37	45	26	30	34
7,0	45 <sup>*1</sup>	7	34	45	49	30	34	39
8,0	50 <sup>*1</sup>	8	38	49	54	34	39	44
9,0	54 <sup>*1</sup>	9	43	54	59	39	44	49
10,0	57 <sup>*1</sup>	10	49	59	64	44	49	55

\*<sup>1</sup> Когда ширина зубчатого венца обкатных колес превышает 38 мм, следует применять двусторонний способ с использованием режущих головок, у которых в резании всегда находится только один резец, или односторонний способ.

\*<sup>2</sup> Нарезание зубьев колеса методом копирования производят со скоростями  $v = 5...10$  м/мин.

П р и м е ч а н и е. Приведенные в таблице подачи рекомендуют для обработки заготовок из легированных сталей, имеющих твердость 156...207 НВ и  $\sigma_s = 549...686$  МПа, со скоростью резания  $v = 46...55$  м/мин. При обработке заготовок из легированных сталей с 207...269 НВ и  $\sigma_s = 755...853$  МПа значение подач необходимо умножить на коэффициент 1,16, а скорость резания установить в пределах  $v = 35...44$  м/мин.

### 14. Основные технические характеристики зуборезных станков

Параметр	5С262Е	5А26ВФ3	5А270В	5С280П	5А284	5С261МП	5С272Е
Наибольший диаметр обрабатываемого колеса, мм	320	320	500	800	1600	320	500
Наибольший модуль, мм	6	12	12	16	22	6	12
Наибольшая ширина зубчатого венца, мм	50	65	80	125	250	50	110
Частота вращения инструмента, мин <sup>-1</sup>	24...225	20...250	15...134	18...172	8,4...62,5	3...25	3...64

П р и м е ч а н и е. Станки мод. 5С261МП и 5С272Е работают методами врезания и копирования.

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ЧЕРВЯЧНЫХ ПЕРЕДАЧ

Червячные колеса нарезают на зубофрезерных и специальных станках методом обкатывания. В процессе нарезания зубьев червячная фреза и червячное колесо, вращаясь, воспроизводят зацепление червяка и червячного колеса в собранном агрегате.

Выбор метода обработки зависит от качества зацепления червячной передачи. Червячные колеса для червяков с углом подъема винтовой линии до  $8^\circ$  обрабатывают методом радиальной подачи (рис. 29, а). При большем угле происходит повреждение боковых поверхностей зуба, что вызывает ухудшение пятна контакта. Для больших углов подъема червяков и при обработке фрезами-летучками применяется способ тангенциальной подачи (рис. 29, б). Комбинированный способ радиально-тангенциальной подачи (рис. 29, в) сочетает в себе преимущества обоих способов.

В большинстве случаев червячные колеса обрабатывают червячными фрезами за одну или две операции.

Для обеспечения правильного зацепления червячной передачи необходимо соблюдать следующие правила: червяк и червячное колесо должны иметь одинаковую форму профиля. Внешний диаметр червячной фрезы должен быть на удвоенную величину радиального зазора больше, а толщина зуба фрезы больше, чем у червяка на величину бокового зазора в передаче.

Метод нарезания с радиальной подачей (см. рис. 29, а) осуществляется на зубофрезер-

ных станках цилиндрической фрезой, ось которой устанавливают горизонтально, симметрично оси колеса, в положение оси сопрягаемого червяка. В процессе нарезания фреза подается радиально на глубину зуба. Длина фрезы должна перекрывать поле зацепления. Чтобы зубья колеса были нарезаны полностью по всей окружности, после достижения полной высоты зуба и выключения радиальной подачи, необходим еще один полный оборот детали, прежде чем остановить станок.

При радиальном методе фрезерования число огибающих резцов, а следовательно, и шероховатость поверхности зависят от числа стружечных канавок на фрезе, числа заходов фрезы и диаметра колеса. Когда диаметр червячного колеса мал и фреза имеет небольшое число стружечных канавок, на профиле зуба колеса остаются широкие поверхности огибающих резцов. В этом случае для повышения качества поверхности по окончании радиальной подачи целесообразно применять чистовую обработку тангенциальным или радиально-тангенциальным способом.

Метод с радиальной подачей обладает высокой производительностью и прост в наладке, его применяют для обработки червячных колес невысокого качества.

Метод фрезерования с тангенциальной подачей (см. рис. 29, б) производится на зубофрезерных станках с протяжным суппортом, который сообщает фрезе осевую подачу. В качестве режущего инструмента применяют червячные фрезы с заходным конусом или

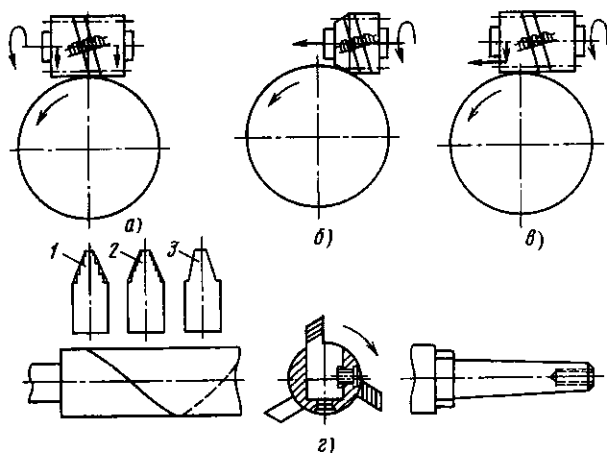


Рис. 29. Методы нарезания зубьев червячных колес

фрезе-летучку. Заходная часть фрезы предназначена для черновой обработки зубьев колеса, а также равномерного распределения износа и уменьшения нагрузки на зубья фрезы. Цилиндрическая часть производит чистовую обработку зубьев.

В начале резания фреза устанавливается таким образом, чтобы ее заходная часть слегка касалась окружности выступов обрабатываемого колеса. Затем фреза перемещается вдоль своей оси тангенциально (касательно) к делительной окружности колеса до тех пор, пока ее первый калибрующий зуб с полным профилем не выйдет из зацепления с профилем зуба колеса. Тангенциальная подача требует дополнительного вращения детали посредством дифференциала. Осевая подача должна быть противоположна направлению вращения детали.

Производительность метода фрезерования с тангенциальной подачей ниже, чем с радиальной подачей, а точность выше.

*Метод фрезерования с радиально-тангенциальной подачей* (см. рис. 29, в) состоит в том, что за один установ заготовки производится черновое нарезание зубьев с радиальной подачей. Для обеспечения припуска под чистовую обработку радиальная подача выключается несколько раньше, чем будет достигнута полная высота зуба, затем станок автоматически переключается на тангенциальную подачу для чистового нарезания зубьев. При радиально-тангенциальном методе можно применять фрезы с заходным конусом и цилиндрические фрезы той же длины, как при фрезеровании с радиальной подачей.

Метод с радиально-тангенциальной подачей включает в себя более высокую производительность метода с радиальной подачей и лучшее формообразование профиля зуба, характерное для метода с тангенциальной подачей. Тангенциальный путь фрезы при этом методе короче, чем при методе с тангенциальной подачей.

*Метод обработки фрезой-летучкой* обычно применяется в единичном производстве при отсутствии дорогостоящих червячных фрез. Черновое нарезание зубьев колеса осуществляется с радиальной подачей на 0,2 мм глубже полной высоты зуба, а чистовое нарезание — одним резцом с тангенциальной подачей, припуск снимается только с боковых сторон зуба.

При обработке точных червячных колес и колес крупного модуля вместо одного в

оправке устанавливают несколько резцов. На рис. 29, г показана оправка с тремя резцами: резцы 1 и 2 предназначены для черновой обработки впадин зубьев, а резец 3 — чистовой. Обработка фрезой-летучкой процесс длительный, однако возможность регулирования реза в оправке по высоте позволяет получить однородное качество зацепления червячных колес.

*Чистовая отделка зубьев червячных колес* осуществляется после чистового фрезерования, с помощью червячных шеверов. Шевер представляет собой червяк, на вершине и боковых сторонах которого нанесено большое число узких незатылованных зубцов.

Шевингование выполняется двумя методами: с радиальной подачей посредством сближения инструмента с деталью до достижения номинального межосевого расстояния и осевой подачей на номинальном межосевом расстоянии. Как при радиальной, так и при осевой подаче ведущим элементом является червячный шевер; колесо должно свободно вращаться на своей оси. Кинематическая связь между шевером и колесом отсутствует. При шевинговании с осевой подачей качество поверхности лучше, чем при работе с радиальной подачей. При работе с радиальной подачей возможно также небольшое срезание профиля зуба колеса. Припуски под чистовое фрезерование и шевингование червячных колес приведены в табл. 15.

В цилиндрических червячных передачах червячки разделяют на следующие основные виды: архимедовы (ZA); конвалютные (ZN); эвольвентные (ZI).

В единичном производстве червяки с формами боковых поверхностей ZA, ZN, ZI как предварительно, так и окончательно могут быть изготовлены на токарном станке. Архимедовы червяки (ZA) нарезают резцами с прямолинейными режущими кромками, установленными в осевом сечении червяка (рис. 30, а).

### 15. Припуски, мм, на толщину зуба червячных колес

Модуль, мм	Под чистовое фрезерование	Под шевингование
До 2	0,25	0,08
Св. 2 до 4	0,25...0,40	0,08...0,15
» 4 » 6	0,40...0,60	0,15...0,20
» 6 » 8	0,60...0,80	0,20...0,25
» 8 » 10	0,80...1,00	0,25...0,30
» 10 » 14	1,00...1,20	0,30...0,40

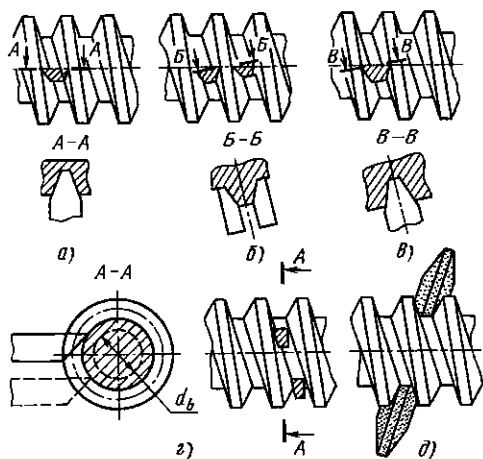


Рис. 30. Схемы установки инструмента при нарезании червяков

Обе стороны витка одновременно обрабатывают при черновом нарезании и отдельно каждую сторону при чистовом. По этой же технологии обрабатывают конволютные червяки, с той разницей, что резцы с прямолинейными кромками для червяка ZN1 устанавливают в нормальном сечении витка (рис. 30, б), а для червяка ZN2 – в нормальном сечении впадины (рис. 30, в).

При обработке эвольвентных червяков ZI важное значение имеет установка токарных резцов. Чистовое нарезание эвольвентного червяка выполняют двумя резцами: один резец – для обработки правой, другой – для обработки левой стороны витка. Резцы, имеющие прямолинейные режущие кромки, устанавливают один выше, другой ниже оси червяка, в плоскостях, касательных к основному цилиндру червяка (рис. 30, з).

В серийном производстве используют более эффективные методы. Обработка ведется на резьбофрезерных и специально-фрезерных станках дисковым или пальцевыми фрезами профиль которых определяют для каждого конкретного типа червяка. Возможно также точение витков червяков (типа ZA и ZI) на зубофрезерных станках долбяком. Многозаходные эвольвентные червяки нарезают методом обкатывания на зубофрезерных станках червячными фрезами. В крупносерийном и массовом производстве широко применяют вихревой метод обработки червяков в специальном

приспособлении, установленном на резьбофрезерном станке. Этот метод обладает большой производительностью. Подобно изготовлению резьбы, червяки небольших размеров, с малым углом подъема витка и небольшой глубиной профиля иакатывают в холодном состоянии без снятия стружки.

У термически обработанных архимедовых, конволютных и эвольвентных червяков окончательную обработку профиля витка осуществляют на специальных резьбошлифовальных станках или станках для шлифования червяков. Для повышения производительности шлифование осуществляют дисковыми шлифовальными кругами большого диаметра на скорости резания 40...45 м/с.

Шлифовальный круг правят соответственно профилю червяка и наклоняют (см. рис. 30, д) на делительный угол подъема витка.

На станках старой конструкции оба профиля шлифовального круга правят алмазными шаблонами, которые изготавливают на профильно-шлифовальных станках. Эта операция требует дорогостоящей подготовки и высокой квалификации оператора. На современных станках для шлифования червяков правку шлифовального круга производят с помощью специального устройства, работающего от ЧПУ станка. На рис. 31, а показано правящее устройство с двумя высокочастотными шпинделями  $l$  ( $n = 8000...14\ 000 \text{ мин}^{-1}$ ), установленными под углом  $12^\circ$  к вертикальной оси.

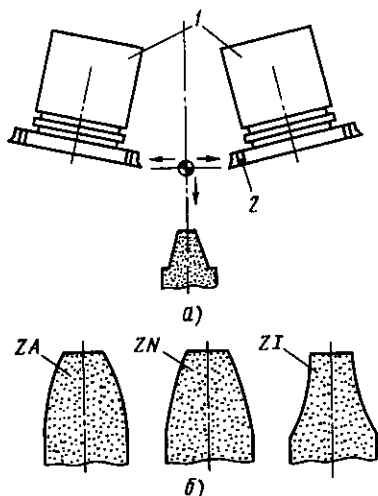


Рис. 31. Схема правки шлифовальных кругов



В качестве правящего инструмента используют алмазные шлифовальные круги 2 с диаметром 80 мм и радиусом закругления вершины 0,1...2,0 мм.

Формы шлифовальных крутов в осевом сечении, необходимые для получения архимедовых ZA, конвалютных ZN и эвольвентных ZI червяков приведены на рис. 31, б. После пробного шлифования специальные программы позволяют производить корректировки угла и формы профиля червяков за счет ввода на экран дисплея отдельных точечных корректировок.

При изготовлении червяков высокой точности необходимо использовать контрольно-измерительные приборы, соответствующей точности. Окончательное шлифование осуществляют в термостатных помещениях. Соседние станки устанавливают на достаточном удалении от шлифовального, чтобы уменьшить влияние вибрации, нагрева и т.д.

Припуски на обработку профиля червяков приведены в табл. 16.

**16. Припуски, мм, на толщину зуба профиля витков червяка**

Модуль мм	Под чистовое нарезание	Под шлифование
До 2	0,7	0,2
Св. 2 до 4	0,7...1,4	0,2...0,4
» 4 » 6	1,4...2,0	0,4...0,6

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калашников С.Н., Калашников А.С. Изготовление зубчатых колес. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1986. 287 с.
2. Производство зубчатых колес: Справочник / С.Н. Калашников, А.С. Калашников, Г.И. Коган и др.; Под ред. Б.А. Тайца. 3-е изд. М.: Машиностроение, 1990. 464 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя: В 2 т. 5-е изд., испр. М.: Машиностроение, 2003.

## Глава 13

### АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА

Термины и определения основных понятий в области абразивных материалов, инструментов и абразивной обработки приведены в ГОСТ 21445-84, ГОСТ 23505-79 (в ред. 1988 г.) и ГОСТ 14706-78 (в ред. 1985 г.).

#### АБРАЗИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Режущая часть абразивного инструмента состоит из зерен абразивных материалов: окиси алюминия, карбида кремния, алмаза, кубического нитрида бора (табл. 1).

#### 1. Марки и область применения абразивных материалов

Абразивный материал	Марка	Область применения	
		Абразивный инструмент	Обработка
Электрокорунд: нормальный с содержанием $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ , %: 91 92	12A	Свободное зерно, пасты, круги, сегменты	Малоответственные, обдирочные работы
	13A		
93	14A	Круги, бруски	Шлифование стальных заготовок, ковкого чугуна, твердой бронзы, никелевых и алюминиевых сплавов кругами на органической и керамической связках; резка заготовок, зачистка литья, поковок
95 97	15A 18A	Круги, бруски, шлифовальная шкурка	Отделочные работы шкуркой. Скоростное шлифование углеродистых и легированных сталей в закаленном состоянии, быстрорежущих сталей кругами на керамической и бакелитовой связках. Заточка инструмента
белый с содержанием $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ , %: 97	23A	Свободное зерно, пасты, круги, бруски	Шлифование стальных заготовок кругами на органических связках; отделка деталей из легированных и закаленных сталей незакрепленным зерном, пастами и брускамн
98	24A	Круги, бруски, шлифовальная шкурка	Чистовое и профильное шлифование деталей из закаленных сталей кругами и брускамн на керамических связках; отделочная обработка шлифовальной шкуркой, шлифование деталей, склонных к прижогам
99	25A	Круги, бруски, шлифовальная шкурка и паста	Отделочное шлифование и резбошлифование инструментальной и легированной конструкционной стали. Доводка пастами, суспензиями. Заточка сложного режущего инструмента

Продолжение табл. 1

Абразивный материал	Марка	Область применения	
		Абразивный инструмент	Обработка
хромистый с содержанием $\alpha$ - $Al_2O_3$ , %: 97	32A; 33A; 34A	Свободное зерно, пасты, круги, бруски, сегменты	Шлифование с повышенными припусками заготовок из конструкционных углеродистых, легированных сталей и труднообрабатываемых материалов в закаленном и незакаленном состоянии: заточка быстрорежущих инструментов; чистовое шлифование; обеспечивают более высокую производительность, чем круги из белого электрокорунда марок 23A и 24A
титаннстый	37A	Шлифовальные круги	Применяется на операциях предварительного шлифования с увеличенным съемом материала
циркониевый	38A	Отрезные и шлифовальные круги, шлифовальная шкурка	Для обдирочных работ с большими удельными нагрузками на абразивное зерно
Монокорунд с содержанием $\alpha$ - $Al_2O_3$ , %: 96,5...97,4	43A	Свободное зерно, пасты, бруски, шлифовальная шкурка	Окончательная обработка ответственных деталей из легированных, в том числе коррозионно-стойких, жаропрочных сталей и сплавов
97,5 98,5	44A 45A	Круги, бруски, шлифовальная шкурка	Шлифование труднообрабатываемых коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов, легированных цементированных, азотированных сталей; сухое шлифование, заточка и доводка режущего инструмента
Сфериокорунд с 99 % $Al_2O_3$	СФК	Круги и бруски из зерен в виде полых корундовых сфер	Шлифование и доводка мягких и вязких материалов: цветных металлов, пластмасс
Керамический корунд	NORTON SG; NORTON SGX; NORTON TG (фирма SAINT GOBAIN ABRASIVES/ Франция)	Круги, сегменты, шлифовальная шкурка	Шлифование с повышенными припусками заготовок из конструкционных, углеродистых, легированных, коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов, титановых сплавов. Профильное шлифование, заточка быстрорежущих инструментов. Размер зерна – не менее 100 мкм. Обеспечивается одновременное повышение производительности обработки и стойкости инструмента. Зерна марки SGX – повышенной хрупкости, зерна марки TG – удлиненной формы ( $l > 3d$ )

Окончание табл. 1

Абразивный материал	Марка	Область применения	
		Абразивный инструмент	Обработка
Карбид кремния: черный с содержанием SiC, %: 95	53С	Зерна, порошки, пасты	Для тяжелых, обдирочных и зачистных работ
97 98	54С 55С	Круги, бруски, сегменты, шли- фовальная шкурка	Обработка твердых, хрупких и очень вязких материалов: твердых сплавов, серого и отбеленного чугуна, бронзового и латунного литья, меди, неметаллических материалов (минералов, стекла, фарфора и т.д.)
зеленый с содержанием SiC, %: 97...99,5	63С	Круги, бруски, сегменты на различных связках	Шлифование и доводка твердых сплавов, легированных и закаленных сталей и высокотвердых неметаллических материалов; заточка твердосплавного инструмента, правка кругов
96...97	64С	Свободное зерно, круги, бруски, шлифо- вальная шкурка	Окончательное шлифование, чистовая заточка твердосплавного инструмента, хонингование и суперфиниширование
Карбид бора B <sub>4</sub> C, %: 93	КБ	Свободное зерно, пасты	Доводка незакрепленным зерном деталей из твердых сплавов и чугунов, а также рубина и сапфира
Алмаз С: природный	А1-А8	Лезвийные ре- жущие инстру- менты, каранда- ши, ролики, ал- мазные пасты	Точение цветных сплавов. Доводка стекла и драгоценных металлов, пластмасс, ферритов, полупроводников. Правка кругов
синтетический	АС2-АС50	Алмазные круги, пасты	Шлифование твердых сплавов, армированных стекловолокном реактопластов, керамики, кварца, ситаллов, жаропрочных материалов, доводка твердосплавных и керамических инструментов, доводка пастами твердых сплавов, закаленных сталей, керамики, ситаллов, подножек из сапфира
Кубический нитрид бора BN (эльбор, кубанит, гексанит)	ЛО; ЛП; ЛД; ЛОМ; ЛОС; КО; КР; КРМ; ГА	Круги, бруски, шлифовальная шкурка	Шлифование закаленных жаропрочных легированных сталей, заточка инструмента из быстрорежущих сталей; внутреннее прецизионное шлифование, доводка, полирование и суперфиниширование

## 2. Марки абразивных материалов зарубежных инструментов

Стандарт	Марка	Материал
ANSI B 74.13-1977; ISO 525; EN 12413	A	Электрокорунд
	C	Карбид кремния
	D	Алмаз
	Z	Цирконневый корунд
	B	Кубический нитрид бора
DIN 69100	AS	Улучшенный электрокорунд
	CS	Улучшенный карбид кремния
Фирмы: August Rugeberg	AD	Электрокорунд темно-красный
	AW	Электрокорунд белый
	AR	Электрокорунд розовый
	AN	Нормальный электрокорунд
	AH	Полый шаровой корунд (сферокорунд)
	ADW	Смешанный корунд AD+AW
	ARN	Смешанный корунд AR+AN
	CN	Карбид кремния зеленый
CU	Карбид кремния серый	
Другие возможные варианты: TYROLIT; CARBORUNDUM	NK	Нормальный электрокорунд
	NK	Полубелый электрокорунд
	EKW	Электрокорунд белый
	SC	Карбид кремния черный
	SCg	Карбид кремния зеленый

Марки абразивных материалов зарубежного производства обозначают в соответствии со стандартами ISO 525, EN 12413, DIN 69100, ANSI B 74.13-1977 и др. (табл. 2).

Измельченный и классифицированный абразивный материал называют *шлифовальным материалом*.

*Зернистость шлифовальных материалов* (ГОСТ 3647-80 (в ред. 1995 г.)) определяется размером абразивных зерен, т.е. группой материала:

Группа материала	Размер зерен, мкм	Зернистость
Шлифзерно .....	2000...160	200...16
Шлифпорошки .....	125...40	12...4
Микрошлифпорошки ...	63...10	M63 - M14
Тонкие микрошлифпорошки .....	10...3	M10 - M5

Обозначение зернистости дополняют индексами В, П, Н и Д, которые характеризуют процентное содержание (массовая доля) основной фракции (может составлять 39...60 %). Шлифовальные материалы с содержанием основной фракции В и П используют для кругов класса АА; В, П и Н – для кругов класса А; В, П, Н и Д – для кругов класса Б.

Зернистость шлифовального материала выбирают в зависимости от вида обработки (табл. 3).

Сравнительные характеристики шлифовальных материалов по ГОСТ и по стандартам FEPA (Европейская организация изготовителей абразивов) приведены в табл. 4 и 5.

## 3. Зернистость абразивных материалов

Зернистость по ГОСТ 3647-80 (в ред. 1995 г.)	Размер зерна основной фракции, мкм	Индекс обозначения содержания зерна основной фракции, %				Область применения																		
		В	П	Н	Д																			
200 160 125 100 80	2500...2000 2000...1600 1600...1250 1250...1000 1000...800	-	55	45	41	Обдирочные операции; зачистка отливок, поковок. Инструмент для правки шлифовальных кругов. Обдирочное шлифование																		
63 50	800...630 630...500						Плоское шлифование торцом круга; предварительная заточка инструмента; отрезные работы; предварительное шлифование со снятием большого припуска незакаленной стали и чугуна. Шлифование вязких материалов																	
40 32 25	500...400 400...315 315...250							Предварительное и окончательное шлифование закаленных стальных поверхностей и чугуна до параметра шероховатости поверхности $Ra = 0,63...2,5$ мкм. Заточка режущего инструмента																
20 16	250...200 200...160								Чистовое шлифование до параметра шероховатости поверхности $Ra = 0,32...1,25$ мкм. Профильное шлифование. Заточка мелкого режущего инструмента															
12 10 8 6	160...125 125...100 100...80 80...63									Отделочное и профильное шлифование до параметра шероховатости поверхности $Ra = 0,16...0,63$ мкм. Чистовая заточка и доводка режущего инструмента. Предварительное хонингование. Резьбошлифование (резьба крупного шага)														
5 4	63...50 50...40										Отделочное шлифование хрупких материалов. Резьбошлифование (резьб мелких шагов). Хонингование до параметра шероховатости поверхности $Ra = 0,16...0,63$ мкм													
M63 M50 M40 M28 M20 M14 M10 M7 M5	63...50 50...40 40...28 28...20 20...14 14...10 10...7 7...5 5...3											60	50	45	43	Суперфиниширование, доводка, чистовое хонингование для получения параметра шероховатости поверхности $Ra = 0,16$ мкм и менее								
																							40	39

#### 4. Обозначения зернистостей, размер зерен и содержание основной фракции абразивных материалов

ГОСТ 3647-80 (в ред. 1995 г.)			Стандарт FEPA					
Зерна и порошки для шлифовальных кругов и шкур			Зерна и порошки для шлифовальных кругов			Зерна и порошки для шлифовальных шкур		
Зерни- стость	Размер, мкм	Содержа- ние основной фракции, %	Зерни- стость	Основная фракция		Зерни- стость	Основная фракция	
				Размер, мкм	Содержа- ние, %		Размер, мкм	Содержа- ние, %
—	—	—	8	2800...2360	45	—	—	—
200	2500...2000	45	10	2360...2000	45	—	—	—
160	2000...1600	45	12	2000...1700	45	12	2000...1700	45
—	—	—	14	1700...1400	45	—	—	—
125	1600...1250	45	16	1400...1180	45	16	1400...1180	49
100	1250...1000	45	20	1180...1000	45	20	1000...850	44
80	1000...800	45	24	850...710	45	24	850...710	47
63	800...630	45	30	710...600	45	30	710...600	47
50	630...500	45	35	600...500	45	36	600...500	47
40	500...400	45	46	425...355	40	40	425...355	47
32	400...315	45	54	355...300	40	50	355...300	49
25	315...250	43	60	300...250	40	60	300...250	45
20	250...200	43	70	250...212	40	—	—	—
16	200...160	43	80	212...180	40	80	212...180	49
—	—	—	90	180...150	40	100	180...150	45
12	160...125	45	100	150...125	40	—	—	—
10	125...100	45	120	125...106	40	120	125...106	44
8	100...80	45	150	106...65	40	150	106...90	49
—	—	—	—	—	—	180	90...75	47
6	80...63	40	180	90...63	40	220	75...63	47
5	63...50	40	220	75...53	40	—	—	—
4	50...40	40	—	—	—	—	—	—

#### 5. Обозначения зернистости и размер зерен микропорошков

ГОСТ 3647-80 (в ред. 1995 г.)		Стандарт FEPA					
Микропорошки для шлифовальных кругов, шлифовальной шкурки и использования в свободном виде		Микропорошки для шлифовальных кругов			Микропорошки для шлифовальных шкур		
Зерни- стость	Размер зерен основной фракции, мкм	Зерни- стость	Средне- дианный размер зерен, мкм	Размер максимальных зерен, мкм (не более 0,1 %)	Зерни- стость	Средне- дианный размер зерен, мкм	Размер максимальных зерен, мкм (не более 0,1 %)
M63	63...50	—	—	—	240	58±2,0	106
		230/53	53±3,0	106	280	52,2±2,0	90
M50	50...40	240/45	44,5±2,0	90	320	46,2±1,5	90
		—	—	—	360	40,5±1,5	75

Окончание табл. 5

ГОСТ 3647-80 (в ред. 1995 г.)		Стандарт FEPA					
Микропорошки для шлифовальных кругов, шлифовальной шкурки и использования в свободном виде		Микропорошки для шлифовальных кругов			Микропорошки для шлифовальных шкурки		
Зернистость	Размер зерен основной фракции, мкм	Зернистость	Средне-дианный размер зерен, мкм	Размер максимальных зерен, мкм (не более 0,1 %)	Зернистость	Средне-дианный размер зерен, мкм	Размер максимальных зерен, мкм (не более 0,1 %)
M40	40...28	280/37 300/29	36,5±1,5 29,2±1,5	75 63	400 500	35,0±1,5 30,2±1,5	75 63
M28	28...20	— 360/23	— 22,8±1,5	— 53	600 800	25,75±1,0 21,8±1,0	63 53
M20	20...14	400/17 —	17,3±1,0 —	45 —	1000 1200	18,3±1,0 15,3±1,0	45 38
M14	14...10	500/13	12,8±1,0	38	—	—	—
M10	10...7	600/9	9,3±1,0	32	—	—	—
M7	7...5	800/7	6,5±1,0	22	—	—	—
M5	5...3	1000/5	4,5±0,8	16	—	—	—
—	—	1200/3	3,0±0,5	11	—	—	—

## АБРАЗИВНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

Связка абразивного инструмента (табл. 6) в значительной степени обуславливает интенсивность съема материала заготовки, качество обработки, износ инструмента и экономичность операции.

*Твердость* абразивного инструмента (табл. 7) — сопротивляемость связки вырыванию абразивных зерен с поверхности инструмента под влиянием сил резания. Контроль твердости кругов выполняется в соответствии с ГОСТ 18118-79 (в ред. 1982 г.), ГОСТ 19202-80 (в ред. 1991 г.) и ГОСТ 21323-75.

Чем тверже круг, тем большая сила необходима, чтобы вырвать зерно из связки, но в то же время в большей степени проявляется склонность инструмента к засаливанию (забиванию) пор круга стружкой) при шлифовании, например, вязких закаленных материалов. Мягкими кругами выполняют чистовую обработку закаленных стальных заготовок и заготовок из твердых сплавов и других твердых материалов, а также, в порядке исключения, из коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов. Обдирочное шлифование выполняют более твердыми кругами. Кругами средней

твердости и твердыми обрабатывают более мягкие материалы — незакаленную сталь, чугун и другие материалы, выполняют профильное бесцентровое шлифование, отрезку и прорезку канавок. При выборе абразивных кругов по твердости учитывают также вид шлифования (плоское или круглое, наружное или внутреннее); зернистость шлифматериала круга — относительно меньшую твердость круга принимают для мелкозернистых кругов; размеры и профиль рабочей поверхности круга — более мягкие круги для больших частот их вращения, твердые — при фасонных профилях кругов и при шлифовании прерывистых поверхностей для сохранения стойкости кромок; наличие или отсутствие СОЖ при обработке — более твердые круги с использованием СОЖ; режимы резания — чем выше значения параметров режимов резания, тем тверже круги. При шлифовании на станках повышенной жесткости и виброустойчивости с автоматической подачей берут круги на одну-две степени мягче, чем при такой же работе с ручной подачей или на нежестких станках. Для одних и тех же условий шлифования круги на бакелитовой связке берут на две степени тверже кругов на керамической связке.



## 6. Маркировка и область применения инструментов на разных связках

Вид связки и область применения	Условное обозначение (по FEPA)	Разновидность связки	Состав и краткая характеристика
<i>Керамическая.</i> Рекомендуется для всех видов шлифования, кроме обдирки на подвесных станках, отрезки, прорезки узких пазов, плоского шлифования торцом круга	К (V)	K0	Малогобаритные круги для внутреннего шлифования
		K1	Инструменты общего назначения
		K8	Плавающая связка. Для кругов из электрокорунда (все виды шлифования). Состав, %: пигмалит – 48; латенская глина – 40; тальк – 12
		K5	Плавающая связка. Для кругов из электрокорунда повышенной прочности и кромкостойкости. Состав, %: шпат полевой – 25; латенская глина – 15; каолин – 15; тальк – 10; борное стекло – 35
		K7	Инструменты для скоростного, профильного врезного, прецизионного шлифования
		K3	Спекающаяся связка. Для кругов из карбида кремния для всех видов шлифования и заточки. Состав, %: шпат полевой – 60...65; огнеупорная глина – 35...49
		K10	Спекающаяся связка. Для кругов из карбида кремния всех назначений. Состав, %: шпат полевой – 50; огнеупорная глина – 30; борное стекло – 20
<i>Бакелитовая.</i> Для обдирки на подвесных станках, отрезки, прорезки узких пазов, плоского шлифования торцом круга, а также для окончательной заточки режущих инструментов, отделочного шлифования, хонингования и резбошлифования	Б (B)	Б	Пульвербакелит с криолитом. Инструмент с повышенной режущей способностью для шлифования деталей, имеющих склонность к прижогам; для зачистки и обдирочного шлифования, для заточки и хонингования
		Б1	Пульвербакелит с другими наполнителями. Инструмент обычного назначения. Для плоского, внутреннего шлифования, заточки, разрезных работ
		Б2	Бакелит жидкий. Инструмент для торцешлифования сегментными кругами
		Б3	Специальная. Инструмент для резбошлифовальных и отрезных работ, хонингования
		БУ	Для кругов, армированных стеклотканью
<i>Вулканитовая.</i> Круги для отрезки, прорезки узких пазов, чистовой обработки фасонных поверхностей, бесцентрового и отделочного шлифования и полирования гибкими кругами	В (R)	В	Натрий-бутадиеновая, изготавливаемая на вальцах. Инструмент общего назначения; для ведущих кругов бесцентрового шлифования
		В1	Специальная. Инструмент для отрезных работ, обработки фасонных поверхностей, хонингования незакаленных сталей

Окончание табл. 6

		Разно- видность связки	Состав и краткая характеристика
<i>Вулканитовая.</i> Круги для отрезки, прорезки узких пазов, чистовой обработки фасонных поверхностей, бесцентрового и отделочного шлифования и полирования гибкими кругами	В (R)	В2	Специальная. Инструмент повышенной прочности для скоростного шлифования и резбошлифования
		В3	Для инструментов, изготавливаемых прессованием. Инструменты повышенной режущей способности для профильной обработки подшипников качения, чистового шлифования цилиндрических и некруглых поверхностей
<i>Глифталевая.</i> Для доводочных и полнровальных работ	ГФ	ГФ	Графитовый наполнитель
<i>Поливинилформалева.</i> Инструмент для доводочных работ	ПФ	ПФ	Вспененный поливинилформаль – поро-пластовые круги
<i>Эпоксидная.</i> Инструмент для доводочных работ, абразивных шеверов	Э	Э5; Э6	Сополимеры эпоксидной смолы
<i>Силикатная.</i> Инструмент с уменьшенным тепловыделением и пониженной кромкостойкостью	С	С	Приготавливается из жидкого стекла, смешанного с различными наполнителями – оксидом цинка, мелом, глиной. Хорошая самозатачиваемость
<i>Магнезиальная.</i> Для заточки режущих поверхностей, не требующих высокой точности	М (M)	М	Состоит из каустического магнезита и раствора хлористого магния, образующих при смешивании магнезиальный цемент, твердеющий на воздухе

## 7. Степень твердости абразивного инструмента

Степень твердости	Область применения
ВМ1, ВМ2, М1 (весьма мягкие и мягкие)	Операции шлифования с интенсивным самозатачиванием инструмента: обработка цветных металлов, труднообрабатываемых и вязких сплавов
М2, М3, СМ1, СМ2 (мягкие и среднемягкие)	Плоское шлифование торцом круга (на бакелитовой связке), периферией круга (на керамической связке); шлифование и заточка инструмента из твердых сплавов, минералокерамики, закаленных углеродистых и легированных сталей. Тонкое шлифование, резбошлифование, зубошлифование, суперфиниширование. Шлифование цветных металлов и сплавов
СМ2, С1, С2 (среднемягкие и средние)	Чистовое шлифование (круглое, плоское, внутреннее, бесцентровое) деталей из закаленной стали; шлифование резьб с крупным шагом. Обдирочное шлифование торцом круга
С2, СТ1, СТ2 (средние и среднетвердые)	Шлифование (круглое, бесцентровое, профильное, резбошлифование) незакаленных, углеродистых и легированных сталей и сплавов и других вязких материалов; плоское шлифование сегментами; хонингование
СТ2, Т1, Т2 (среднетвердые и твердые)	Обдирочное шлифование, шлифование фасонных профилей, прерывистых поверхностей, отрезные работы, зачистка поковок и отливок, ведущие круги для бесцентрового шлифования, хонингование закаленных сталей
ВТ1, ВТ2, ЧТ1, ЧТ2 (весьма твердые и чрезвычайно твердые)	Обдирочное шлифование, правка абразивных кругов методом обкатки и шлифования. Шлифование заготовок с малым припуском (детали часовых механизмов), шлифование шариков для подшипников

Примечание. Цифры справа от буквенных обозначений характеризуют возрастание твердости абразивного инструмента внутри степени.

Согласно стандарту ANSI В 74.13-1977 твердость абразивных инструментов обозначается латинскими буквами от А до Z (от мягких к твердым).

В соответствии со стандартами FEPA (EN 12413) и DIN 69100 абразивные инструменты по твердости маркируют следующим образом:

Мягкие .....	H-K
Средние .....	L-O
Твердые .....	P-S
Очень твердые .....	T-W

Между степенями твердости зарубежных шлифовальных головок и их окружной скоростью существует взаимосвязь (табл. 8).

#### 8. Взаимосвязь между степенями твердости зарубежных шлифовальных головок и окружной скоростью

Степень твердости по FEPA (EN 12413)	Рекомендуемая окружная скорость, м/с
H, I, K, L	25...50
M, R, N, F	20...40
O	5...20
D	10...20
J	25

Между твердостью абразивных инструментов и скоростью распространения в них акустических волн имеется взаимосвязь. Порядок измерения приведенной скорости распространения акустических волн  $c_1$  приведен в ГОСТ 25961-83 (в ред. 1992 г.).

По значению  $c_1$  определяют звуковой индекс (ЗИ) абразивного инструмента по табл. 9.

Орентирировочные соотношения между ЗИ и твердостью абразивных инструментов на керамической, бакелитовой и вулканитовой связках приведены в табл. 10.

Структура абразивного инструмента (табл. 11) характеризуется количественным соотношением объемов шлифовального материала, связки и пор в абразивном инструменте. Различают три группы структур номеров; 1-5 - закрытые (плотные), 6-10 - открытые, 11-18 - высокопористые.

По стандарту ANSI В 74.13-1977 структуры абразивных инструментов обозначаются номером от 1 до 16 (не исключено использование больших номеров) - чем больше номер, тем более "открытая" структура. В соответствии с EN 12413 и DIN 69100 предусмотрены следующие номера, характеризующие плотность структуры:

Закрытая .....	1-3
Средняя .....	4; 5
Открытая .....	6-8
Очень открытая .....	9; 10

#### 9. Звуковой индекс абразивного инструмента

Звуковой индекс	Интервал значений, $c_1$ , м/с	Звуковой индекс	Интервал значений, $c_1$ , м/с
19	От 1800 до 2000	49	Св. 4800 до 5000
21	Св. 2000 » 2200	51	» 5000 » 5200
23	» 2200 » 2400	53	» 5200 » 5400
25	» 2400 » 2600	55	» 5400 » 5600
27	» 2600 » 2800	57	» 5600 » 5800
29	» 2800 » 3000	59	» 5800 » 6000
31	» 3000 » 3200	61	» 6000 » 6200
33	» 3200 » 3400	63	» 6200 » 6400
35	» 3400 » 3600	65	» 6400 » 6600
37	» 3600 » 3800	67	» 6600 » 6800
39	» 3800 » 4000	69	» 6800 » 7000
41	» 4000 » 4200	71	» 7000 » 7200
43	» 4200 » 4400	73	» 7200 » 7400
45	» 4400 » 4600	75	» 7400 » 7600
47	» 4600 » 4800		

### 10. Ориентировочные соотношения между звуковым индексом и твердостью абразивных инструментов

#### Значения ЗИ абразивных инструментов на керамической связке

Степени твердости	Значения ЗИ абразивных инструментов из			
	белого, нормального и легированного электрокорундов зернистостями св. 6	зеленого карбида кремния зернистостями св. 6	белого, нормального, легированного электрокорундов и зеленого карбида кремния зернистостями	
			6-M40	менее M40
M1	35; 37	—	33; 35	33; 35
M2	39; 41	47; 49	37; 39	35; 37
M3	41; 43	51; 53	41; 43	39; 41
CM1	45; 47	55	43; 45	41; 43
CM2	49	57	45; 47	43; 45
C1	51	59	49	45; 47
C2	53	59	49; 51	47; 49
CT1	55	61	51; 53	49
CT2	57	61	53	51
CT3	59	63	55	53
T1	61	63	55; 57	—
T2	61	—	57	—
BT	63	—	—	—

#### Значения ЗИ кругов на бакелитовой связке из электрокорундовых материалов

Степень твердости	Звуковой индекс	Степень твердости	Звуковой индекс
C1	31	T1	37
C2	33	T2	39
CT1	35	BT	39
CT2	35	CT	41
CT3	37		

#### Значения ЗИ абразивных инструментов на вулканитовой связке из электрокорундовых материалов

Степень твердости	Звуковой индекс	Степень твердости	Звуковой индекс
CM	19; 21	CT	27; 29; 31
C	23; 25	T	33; 35

### 11. Структура кругов для различных видов шлифования

Структура		Содержание зерна в круге, % (объемная доля)	Область применения
Группа	Номер		
Закрывающая или плотная	1	60	Шлифование заготовок с малым припуском на обработку; обработка шарикоподшипников
	2	58	
	3	56	
	4	54	Шлифование и доводка хрупких и твердых материалов; шлифование профильное и с большими подачами при переменной нагрузке; отрезка материалов
	5	52	

Окончание табл. 11

Структура		Содержание зерна в круге, % (объемная доля)	Область применения
Группа	Номер		
Открытая	6	50	Шлифование круглое, наружное, бесцентровое, плоское, периферией круга металлов с высоким сопротивлением на разрыв
	7	48	Шлифование вязких материалов с низким сопротивлением на разрыв; плоское шлифование торцом круга, внутреннее шлифование, заточка инструмента
	8	46	
	9	44	Скоростное шлифование (для уменьшения теплообразования), профильное шлифование мелкозернистыми кругами, шлифование резьбы, заточка твердосплавного инструмента
	10	42	
	Высокопористая	11	
12		38	
13		36	Шлифование неметаллических материалов, металлов с низкой теплопроводностью
14		34	
15		32	
16		30	
17		28	
18		26	

Примечание. Круги с закрытой или плотной структурой изготавливают на бакелитовой (Б) связке; круги со структурой других групп – на керамической (К) связке.

Форма и размеры инструмента со связанным абразивом – стандартизованы. Основные размеры кругов – наружный  $D$  и внутренний  $H$  диаметры и высоту  $T$  – выбирают в зависимости от конструкции и назначения станка, а также формы и размеров обрабатываемых деталей. Типы, обозначения и область применения кругов приведены в табл. 12.

**Абразивные круги.** В соответствии с ГОСТ 2424–83 (в ред. 1996 г.) различают три класса точности кругов: АА, А и Б, характеризующих предельные отклонения размеров, формы и взаимного расположения поверхностей (табл. 13).

У шлифовальных кругов диаметром 250 мм и более перед установкой их на станок контролируют неуравновешенность масс. Неуравновешенной точечной массой круга называют условную массу, радиус-вектор (эксцентриситет) который относительно оси посадочного отверстия равен радиусу наружной поверхности (периферии). ГОСТ 3060–86 устанавливает четыре класса неуравновешенности. Диапазоны допустимых неуравновешенных

масс для кругов в состоянии поставки даны в табл. 14. Класс точности круга должен соответствовать классу его неуравновешенности:

Класс точности ..... АА    А    Б

Класс неуравновешенности ..... 1    1; 2    1–3

Пример условного обозначения абразивного круга плоского прямого профиля с размерами  $D \times T \times H = 350 \times 40 \times 127$  мм из монокорунда 45А зернистостью 16, твердостью СМ1, со структурой 7, на керамической связке К5, для работы с окружной скоростью до 35 м/с, класса точности А, неуравновешенностью 1-го класса:  $350 \times 40 \times 127 \text{ 45A 16 CM1 7 K5 35 м/с А 1 кл. ГОСТ 2424–83}$ .

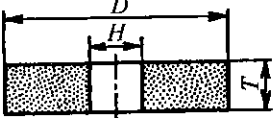
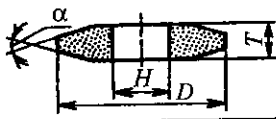
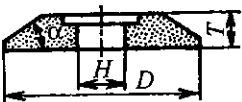
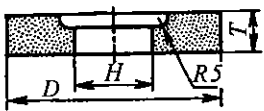
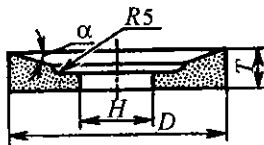
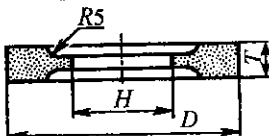
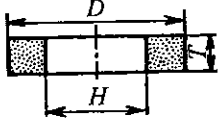
Более подробно схема расшифровки обозначений шлифовального круга показана на рис. 1.

Шлифовальные круги (кроме кругов диаметром до 250 мм), предназначенные для скоростного шлифования, имеют цветную диаметральною полосу:

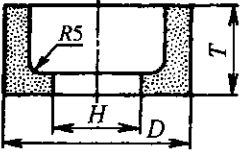
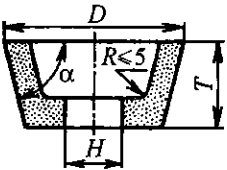
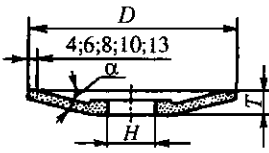
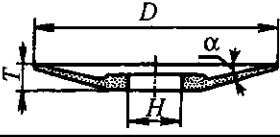
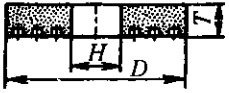
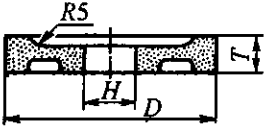
Цвет полосы .....	Желтый	Красный	Зеленый	Синий и зеленый
Рабочая скорость, м/с .....	60	80	100	125

## 12. Наименование абразивных инструментов и область их применения

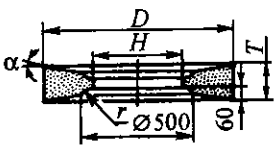
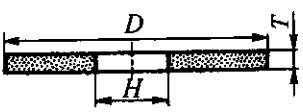
Круги на керамической, бакелитовой и вулканитовой связках (ГОСТ 2424-83 (в ред. 1996 г.))

Круги, тип круга (форма FEPA)	Основные размеры, мм			Угол $\alpha$ , °	Область применения
	D	H	T		
Плоские: прямого профиля, тип 1 (форма 01) 	3...1060, в том числе: 200; 250; 300; 400; 500	1...305, в том числе: 32; 76; 127; 203	6...200, в том числе: 20; 40; 80; 160	—	Шлифование круглое наружное, внутреннее, бесцентровое и плоское периферией круга; зубо- и шлице-шлифование; заточка инструмента
с двусторонним коническим профилем, тип 4 	250...500	76...203	8...32	40; 60	Шлифование профиля зубьев зубчатых колес, резьбы, зуборезного инструмента
с коническим профилем, тип 3 	63...500	10...203	6...40	10...45	То же; заточка пил
с выточкой, тип 5 (форма 05) 	10...600	3...305	13...100	—	Круглое наружное и внутреннее шлифование врезанием с одновременной подрезкой торцовых поверхностей; плоское шлифование
с конической выточкой, тип 23 	300; 350; 500; 600; 750	127; 203; 305	50; 80	10; 15; 20	То же; шлифование на круглошлифовальных станках заготовок с буртиками и фланцами
с двусторонней выточкой, тип 7 (форма 07) 	100...900	32; 76; 127; 203; 305	25...250	—	Круглое наружное и внутреннее шлифование врезанием с одновременной подрезкой торцовых поверхностей; плоское шлифование
кольцевые, тип 2 	200; 300; 400; 450; 500; 600	76; 125; 160; 203; 250; 305...480	63; 80; 100; 125; 160	—	Обработка торцом; зубошлифование

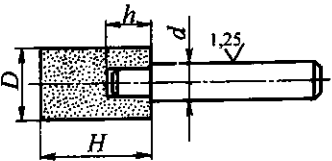
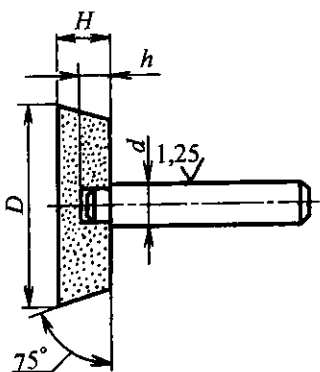
Продолжение табл. 12

Круги, тип круга (форма FEPA)	Основные размеры, мм			Угол $\alpha$ , °	Область применения
	$D$	$H$	$T$		
Чашечные: цилиндрические, тип 6 (форма 06)	40...300	13...150	25...100	—	Плоское шлифование торцом круга, обработка отверстий; заточка и доводка режущего инструмента; зубошлифование
					
конические, тип 11 (форма 11)	50...300	13...150	25...150	50...80	
					
Тарельчатые, тип 12 (форма 12)	80; 100; 125; 150; 200; 250	13; 20; 32	8; 10; 13; 16; 20; 25	15...25	Заточка и доводка режущего инструмента; зубошлифование
					
тип 14	100; 150; 200; 250; 300; 350	20; 32; 40; 127	10; 16; 20; 25; 40	15; 30; 45	Заточка и доводка режущего инструмента; зубошлифование
					
С запрессованными крепежными элементами, тип 36 (форма 35M)	400; 450; 500; 600	160; 203; 301; 305	40...75	—	Обдирочное (реже чистовое) плоское шлифование на специальных станках
С запрессованными гайками					
С двусторонней выточкой и ступицей, тип 10	150; 175; 200; 250; 300	32; 51; 76; 127	8; 10; 16; 20	—	Шлифование калибровых скоб
					

Продолжение табл. 12

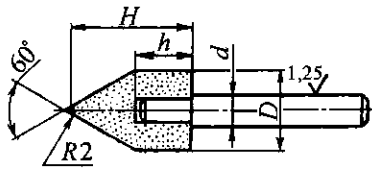
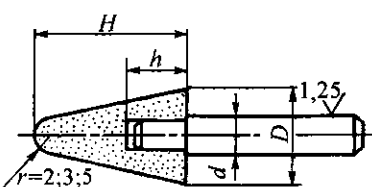
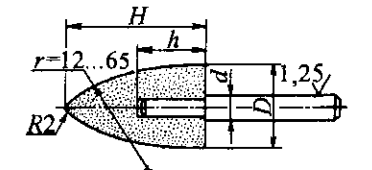
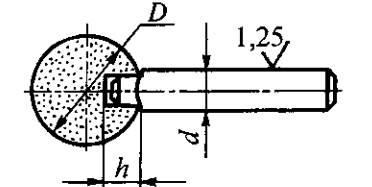
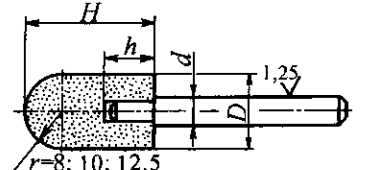
Круги, тип круга (форма FEPA)	Основные размеры, мм			Угол $\alpha, ^\circ$	Область применения
	$D$	$H$	$T$		
Сдвусторонней конической выточкой, тип 26 	750	305	80	5	Круглое шлифование цилиндрических и торцовых поверхностей
Круги отрезные типа Д (по ГОСТ 21963-80) (форма 41) 	50...1500	10...150	0,3...15	—	Отрезка, прорезка пазов

Головки шлифовальные на керамической связке (по ГОСТ 2447-82 (в ред. 1992 г.))  
[тип 52 по FEPA]

Головки	Основные размеры, мм				Область применения
	$D$	$d$	$H$	$h$	
Цилиндрические AW 	3...40	1...13	6...63	3...32	Обработка фасонных поверхностей, поверхностей пресс-форм и штампов; зачистка отливок и сварных швов; внутреннее шлифование (головки AW); шлифование центров (головки EW60°)
Угловые DW 	12; 16; 20; 25; 40	6	6; 8; 10	3; 6	

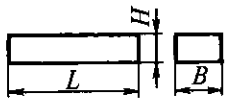
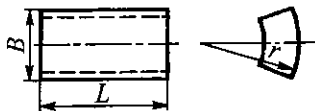
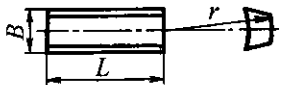
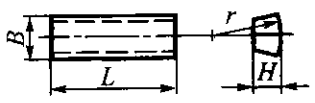
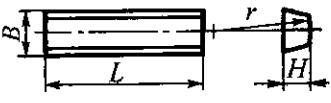
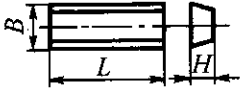
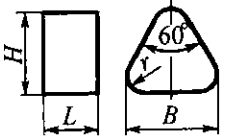


Продолжение табл. 12

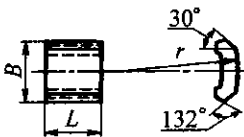
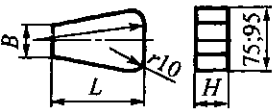
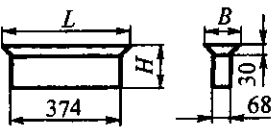
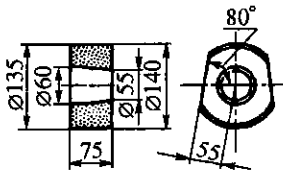
Головки	Основные размеры, мм				Область применения
	$D$	$d$	$H$	$h$	
Конические: с углом конуса $60^\circ$ EW 	10; 16; 20; 32	3; 6	25; 32; 50	15; 20	Обработка фасонных поверхностей, поверхностей пресс-форм и штампов; зачистка отливок и сварных швов; внутреннее шлифование (головки AW); шлифование центров (головки EW60°)
с закругленной вершиной KW 	16; 20; 25; 32; 40	3; 6; 13	16; 32; 40; 60; 63	6; 13; 32	
Сводчатые F-1W 	6; 10; 25; 32; 35; 38	2; 3; 6; 10	10; 20; 22; 40; 50	6; 10; 16; 25	Обработка фасонных поверхностей, поверхностей пресс-форм и штампов; зачистка отливок и сварных швов
Шаровые F-2W 	6; 8; 10; 12; 16; 20; 25; 32	3; 6	—	3; 4; 6; 8; 10; 13	
С цилиндрической боковой поверхностью FW 	12; 16; 20; 25	3; 6	16; 20; 25; 32	5; 8; 10; 13	

Продолжение табл. 12

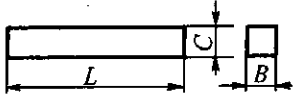
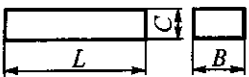
## Сегменты и бруски шлифовальные

Сегменты	$L$	$B$	$H$	$r$	Область применения
Плоские СП 	85...250	40...180	30...63	—	Плоское шлифование торцом круга, заточка ножей
Выпукло-вогнутые 1С 	75...200	60...150	—	85...300	Для наборных кругов, в том числе с прерывистой рабочей поверхностью при плоском шлифовании торцом круга на станках специального назначения; для скоростных кругов, собираемых из отдельных частей в специальной металлической планшайбе; обдирочное шлифование. Различная форма сегментов обусловлена конструкцией патронов станка
Вогнуто-выпуклые 2С 	125; 175	80; 95	—	170; 250	
Выпукло-плоские 3С 	100; 150; 180; 220; 300	110; 120; 150; 210; 380	40; 45; 75; 100; 240	200; 250; 300; 400; 500	
Плоско-выпуклые 4С 	150; 160	100; 190	40; 50	220; 400	
Трапециевидные 5С 	125; 150; 160; 200; 250	60; 100; 210	16; 20; 40; 86	—	
Специальные: 6С 	50	85	78	16	

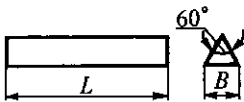
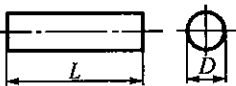
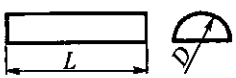
Продолжение табл. 12

Сегменты	$L$	$B$	$H$	$r$	Область применения
7С 	175	175	—	400	Плоское шлифование торцом круга, заточка ножей; для наборных кругов
8С 	90; 110	25; 38	50; 70	145	Плоское торцовое шлифование камня, гранита, керамики
9С 	394	86	150	—	Шлифование рельс
10С 	См. эскиз			—	В текстильной промышленности

Бруски шлифовальные (по ГОСТ 2456–82 (в ред. 1992 г.)) [Тип 90 по FEPA]

Бруски	$L$	$B$	$C$	$r$	Область применения
Квадратные БКв 	16...315	2...45	2...45	—	Ручные шлифовальные, зачистные, слесарно-доводочные работы; применяют также для хонингования и суперфиниширования
Прямоугольные БП 	15...200	2...80	2...25	—	Ручные шлифовальные, зачистные, слесарно-доводочные работы; бруски БП применяют также для хонингования и суперфиниширования

Окончание табл. 12

Бруски	$L$	$B$	$H$	$r$	Область применения
Трехгранные БТ 	100; 150; 200	6; 10; 13; 16; 25	—	—	Ручные шлифовальные, зачистные, слесарно-доводочные работы; бруски БТ применяют также для хонингования и суперфиниширования
Круглые БКр 	100; 150; 200	$D = 6$ ; 10; 13; 16; 20; 25	—	—	Ручная слесарная обработка фасонных поверхностей
Полукруглые БПкр 	100; 150; 200	$D = 6$ ; 10; 13; 16; 20; 25	—	—	

## 13. Предельные отклонения размеров кругов различных классов точности

Размер круга	Интервалы номинальных размеров, мм	Класс точности круга	Предельные отклонения, мм
Наружный диаметр $D$	6...80	AA A, Б	$\pm 0,3 \dots \pm 1,0$ $\pm 0,1 \dots \pm 1,6$
	80...800	AA A, Б	$\pm 1,2 \dots \pm 3,0$ $\pm 1,5 \dots \pm 6,0$
Диаметр посадочного отверстия $d$ ( $H$ )	10...80	AA A Б	0,1...0,2 0,2 0,2...0,4
	80...260	AA A Б	0,2...0,3 0,3...0,7 0,5...0,6
Высота $H$ ( $T$ )	3...16	AA A, Б	$\pm 0,1 \dots \pm 0,2$ $\pm 0,2 \dots \pm 0,9$
	16...100	AA A, Б	$\pm 0,2 \dots \pm 0,25$ $\pm 0,9 \dots \pm 2,0$

## 14. Диапазоны неуравновешенных масс шлифовальных кругов диаметром 250...1100 мм в зависимости от их высоты (классы неуравновешенности 1—4 по ГОСТ 3060—86)

Высота круга, мм	Допустимая неуравновешенная масса, г	Высота круга, мм	Допустимая неуравновешенная масса, г
До 13	5...45	Св. 75 до 100	20...325
Св. 13 до 25	10...85	» 100 » 125	25...295
» 25 » 50	15...250	» 125 » 150	30...250
» 50 » 75	15...225	» 150	35...260

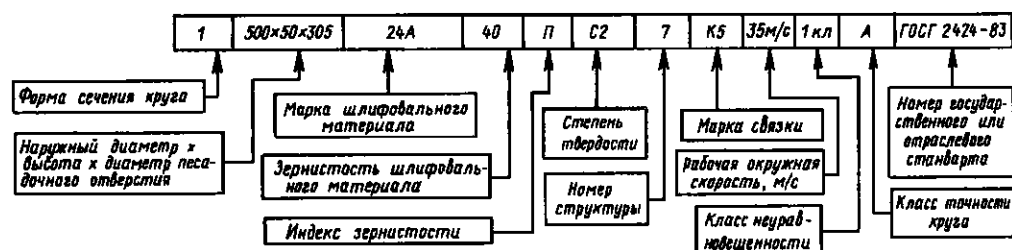


Рис. 1. Условное обозначение шлифовального круга и схема расшифровки

## 15. Шлифовальные головкн

Обозначение	Наименование	Эскиз	Размеры, мм
ZY	Цилиндрическая		$D = 1...50; T = 2...50$ $s = 3 \quad L_2 = 30$ $s = 6; 8 \quad L_2 = 40$
WR	Роликовая круглая		$D = 3...25; T = 6...32$ $s = 3 \quad L_2 = 30$ $s = 6 \quad L_2 = 40$
WK	Роликовая коническая		$D = 13...32; T = 20...40$ $s = 3 \quad L_2 = 40$
KE	Коническая		$D = 10...32; T = 10...50$ $s = 3 \quad L_2 = 30$ $s = 6; 8 \quad L_2 = 40$
SP	Центровая сферическая		$D = 3...25; T = 6...40$ $s = 3 \quad L_2 = 30$ $s = 6 \quad L_2 = 40$
KU	Сферическая		$D = 3...32$ $s = 3 \quad L_2 = 30$ $s = 6 \quad L_2 = 40$
TO	Чашечная		$D = 20...40; T = 16...32$ $s = 6 \quad L_2 = 40$

Примечание. Минимальная допускаемая длина захватываемой патроном части хвостовика  $L_3 = 10$  мм.

Согласно EN 12413 (DIN 69170) предусмотрены следующие формы шлифовальных головок (табл. 15).

Американские формы шлифовальных головок приведены на рис. 2.

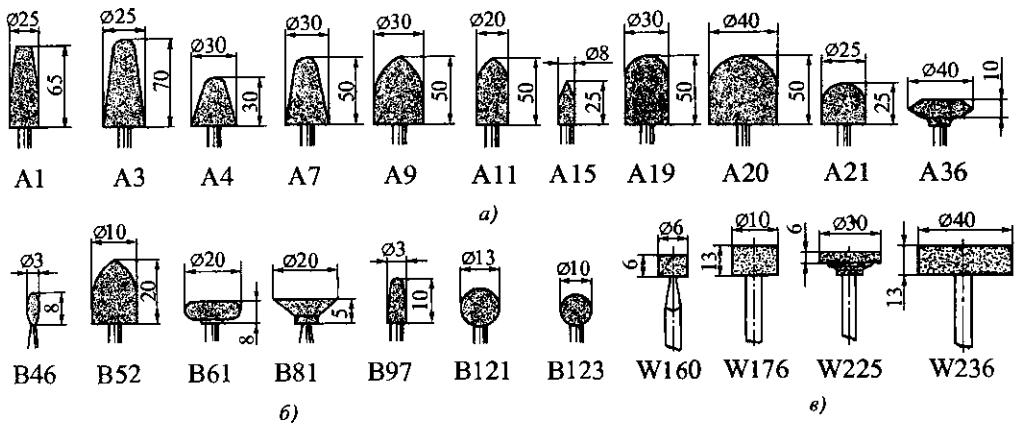


Рис. 2. Американские формы шлифовальных головок:  
а – группа "А"; б – группа "В"; в – группа "W"

**Шлифовальная шкурка** (ГОСТы: 5009–82, 6456–82, 13344–79, 10054–82) выпускается на бумажной и тканевой основе в виде листов, лент, дисков, кругов и т.д.

В качестве основания абразивной ленты, на которое для создания непроницаемости наносят слой аппрета, затем слой клея или лака и слой абразивных зерен, а затем второй слой клея, служат предварительно натянутая ткань. Такое основание и структура придают ленте определенную эластичность и способность несколько сжиматься по толщине под нагрузкой и восстанавливаться при снятии нагрузки.

Чем больше эластичность ленты, тем шире возможности ее успешного применения для обработки фасонных поверхностей и труднодоступных мест. Лента тем эластичнее, чем меньше толщина слоя клея. При выборе ленты необходимо учитывать показатели эластичности наряду с разрывной прочностью, износостойкостью, удлинением и режущей способностью.

Обычно в качестве тканевого основания абразивных лент используют саржу или полудувинтку. Применяемая для производства шкурки и лент саржа разделяется на 13 видов: особо легкую суровую (ЛО), особо легкую гладкокрашеную (ЛОГ); легкую № 1 (Л1), легкую № 2 (Л2); легкую гладкокрашеную (Л2Г); среднюю № 1 суровую (С1); среднюю № 1 гладкокрашеную (С2Г); утяжеленную № 1 суровую (У1); утяжеленную № 1 гладкокрашеную (У2Г); утяжеленную № 2 суровую (У2) и утяжеленную № 2 гладкокрашеную (У2Г).

При ленточном шлифовании лента под влиянием нагрузок удлиняется, поэтому техническими условиями на нее установлены допустимые нормы прочности и удлинения, приведенные в табл. 16 и определенные на основе испытаний на разрыв и удлинение полосок лент размером 50 × 200 мм.

Шкурку используют для машинного и ручного полирования всевозможных материалов с применением СОЖ, а также для шлифования без СОЖ. Водостойкие шкурки изготавливают из синтетических смол и лаках.

Для обработки прецизионных деталей, например колец точных подшипников качения, применяют эластичные и особо эластичные водостойкие ленты из плащевой ткани и шифона с абразивным слоем из нормального и белого электрокорунда зернистостью 10 – М40 и из эльбора (на шифоне) зернистостью Л10 – ЛМ5.

Для изготовления шлифовальной шкурки на тканевой основе применяют различные виды тканевых основ: саржу особо легкую, легкую, среднюю, утяжеленную по ГОСТ 3357–72 (в ред. 1988 г.), полудувинтку по ГОСТ 19196–93, шифон по ГОСТ 29298–92 и миткаль.

Шифон предназначен для изготовления высокоэластичной шлифовальной шкурки, способной обеспечить шероховатость поверхности  $Ra = 0,04 \dots 0,08$  мкм.

В качестве связки для неводостойкой шлифовальной шкурки применяют мездровый клей по ГОСТ 3252–80 (в ред. 1990 г.), казеиновый клей по ГОСТ Р 51463–99, фенолформальдегидные и другие смолы.

## 16. Прочностные характеристики тканей для абразивных лент

Условное обозначение ткани	Шкурка на нездоровом клее (неводостойкая)			Водостойкая шкурка		
	Разрывная нагрузка, Н, не менее		Удлинение при разрыве в продольном направлении, %, не более	Разрывная нагрузка, Н, не менее		Удлинение при разрыве в продольном направлении, %, не более
	в продольном направлении	в поперечном направлении		в продольном направлении	в поперечном направлении	
ЛО	1050	350	8	—	—	—
ЛОГ	1050	350	8	—	—	—
Л1	950	280	8	—	—	—
Л2	1150	380	10	—	—	—
Л2Г	1150	380	10	750	350	8
С1	1200	300	7	—	—	—
С1Г	1300	350	7	850	350	8
С2	1400	380	8	—	—	—
С2Г	1400	380	8	—	—	—
У1	1500	350	6	—	—	—
У1Г	1600	400	6	1300	400	9
У2	1700	420	7	—	—	—
У2Г	1700	420	7	—	—	—
Саржа упроченная специальная	—	—	—	1800	900	9
ПД (полу-двуитка)	—	—	—	1000	600	10

В соответствии с ГОСТ 22773-77, ГОСТ 22774-77, 22775-77, ГОСТ 22776-77 (все в ред. 1991 г.) на специальном оборудовании изготавливают изделия из шлифовальной шкурки: бесконечные шлифовальные ленты на тканевой и комбинированной основах шириной от 10 до 2050 мм и длиной до 10 м; лепестковые круги; диски; бобины; коюсы; розетки; звездочки и др.

**Шлифовальные фибровые диски** (ГОСТ 8692-88 (в ред. 1997 г.)) выпускаются диаметром 60, 70, 150, 178 и 225 мм, зернистостью 80, 63, 50, 40, 25 и 16. Применяют для шлифования и зачистки деталей из сталей и цветных сплавов, в том числе штампованных заготовок, сварных и паяных швов, а также для обработки гранта, мрамора и других материалов.

### ЗАГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ

Отрезку шлифовальным кругом применяют при подготовке штучных (или групповых) заготовок для последующей обработки на металло-режущих станках. Отрезка целесообразна при разделении на заготовки материалов любой твердости ( $HRC > 37$ ) и прочности ( $\sigma_b > 1200$  МПа), в том числе из труднообрабатываемых жаропрочных и титановых сплавов, дисперсионно-твердеющих сталей (типа 36ХНТЮ), когда не рационально (или невозможно) использование ленточных или дисковых пил. Отрезка может быть выполнена при нагреве металла.

Фирма PFERD (Германия) различает следующие схемы работы абразивно-отрезных кругов (рис. 3):

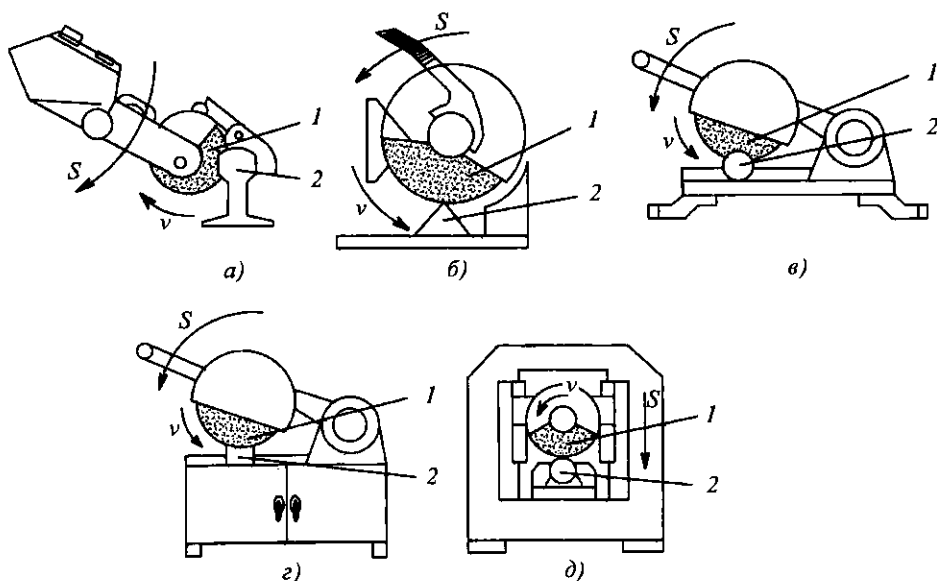


Рис. 3. Схемы работы абразивно-отрезных кругов:  
1 – инструмент, 2 – заготовка

– для резки рельсов (рис. 3, а) с помощью бензиновых машин с зажимным устройством, а также гидравлическим приводом;

– для резки профилей на монтажных столах (рис. 3, б) с максимальной мощностью привода 3 кВт;

– для резки черных и цветных металлов на переносных настольных стайках (рис. 3, в) мощностью 3...5 кВт;

– для резки черных и цветных металлов на стационарных станках с ручией маятниковой подачи (рис. 3, г) мощностью свыше 5 кВт;

– для резки стали и чугуна на стационарных станках большой мощности с механизированной подачей (рис. 3, д), например в литейном и кузнечном производстве.

Производительность абразивной отрезки составляет 0,8...15 см<sup>2</sup>/с и более; ширина пропила приблизительно равна 0,01 % диаметра отрезного круга.

Отрезные круги изготавливают из нормального (марок 13А, 14А и 15А) и белого (марок 23А, 24А и 25А) электрокорундов, а также черного карбида кремния (марок 53С, 54С и 55С). Зернистость кругов на бакелитовой связке из электрокорундов: нормального – 125; 100; 80; 63; 50; 40; 25; 16; белого – 40; 25; 16; 12; 10; 6; 5; 3; кругов на вулканитовой связке из нормального электрокорунда – 40; 25; 16;

12; 10; 8; 6. Твердость кругов на бакелитовой связке из электрокорунда: нормального – СМ2 – С2; белого – СТ1 – ВТ2; на вулканитовой связке из белого электрокорунда – СТ, Т. По заказу потребителей допускается изготовление отрезных кругов из абразивных материалов других марок и зернистостей. Основные размеры кругов приведены в табл. 12.

Отрезные круги диаметром до 500 мм изготавливают с упрочняющей стеклосеткой; круги диаметром более 500 мм – с упрочняющими элементами внутри круга и по его боковым поверхностям. На торцовых поверхностях кругов диаметром 150 мм и более, высотой 1,5 мм и более предусматривают рифления или поднутрения, уменьшающие высоту круга от периферии к центру в пределах допуска, что улучшает условия резания (снижает боковое трение), качество отрезанных заготовок (отсутствуют прижоги и подкаливание материала) и снижает потребляемую энергию.

Режимы резания: рабочие скорости вращения кругов без упрочняющих элементов – 50 и 60 м/с, с упрочняющими элементами на бакелитовой связке – 60...80 м/с; подачи – 60...2500 мм/мин. Круги из электрокорунда применяют для отрезки стальных заготовок; круги из карбида кремния – для отрезки заготовок из титановых сплавов (оптимальная



## 17. Характеристики (по FERA) отрезных кругов (толщина, вид и размер зерна, степень твердости)

Разновидность кругов	Диаметр круга, мм					
	100	115	125	150	178	230
Высокопроизводительные	<i>Легированная, не легированная, инструментальная, быстрорежущая сталь</i>					
	1,0 А60Т (П, Л) <sup>*</sup>	2,4 А30Т (С, П) 1,0 А60 (Л)	2,4 А30Т (С, П) 1,0 А60Т (Л)	—	2,8 А24Т (С) 2,5 А24Т (П, Л)	2,8 А24Т (С) 2,5 А24Т (П, Л)
Производительные	2,4 А46S (П)	3,2 А30S (С)	3,2 А30S (С)	3,0 А24S	3,2 А24S (С)	3,2 А24S (С, П)
	1,0 А60S (Л)	1,6 А46S (П)	1,6 А46S (П)		2,9 А24S (П, Л)	2,9 А24S (Л)
Универсальные	3,2 А46Р (С)	3,2 А46Р (С)	3,2 А46Р (С)	—	3,0 А24Р	3,0 А24Р
	2,4 А46Р (П, Л)	1,6 А46Р (П, Л)	1,6 А46Р (П, Л)			
<i>Высококачественная сталь (коррозионно-стойкая, жаропрочная, кислотостойкая)</i>						
Высокопроизводительные	1,0 А60S (П, Л)	2,2 А46S (С)	2,2 А46S (С)	—	2,8 А24S (С)	2,8 А24S (С)
		1,6 А46S (П)	1,6 А46S (П)		2,3 А24S (П)	2,3 А24S (П)
		1,0 А60S (Л)	1,0 А60S (Л)		1,6 А46S (П)	1,9А24S (П)
Производительные	1,0 А60R	3,2 А46R (С)	3,2 А46R (С)	—	2,5 А24R	3,2 А24R (С)
		1,6 А46R (П)	1,6 А46R (П)		2,5 А24R (П, Л)	
		1,0 А60R (Л)	1,0 А60R (Л)			
Универсальные	3,2 А46Р	3,2 А46Р (С)	3,2 А46Р (С)	—	2,5 А24Р	2,5 А24Р
		1,6 А46Р (П)	1,6 А46Р (П)			
		1,0 А60Р (Л)	1,0 А60Р (Л)			
<i>Высококачественная литейная сталь</i>						
Высокопроизводительная	—	2,2 А46S	2,2 А46S	—	2,8 А24S	2,9Z А24Q
		INOX (П, С)	INOX (П, С)		INOX (С, П)	INOX (С, П)
Производительная	—	3,2 А46R	3,2 А46R	—	2,5 А24R	2,9 Z24Q
		INOX (П, С)	INOX (П, С)		INOX (С, П)	INOX (С, П)
Высокопроизводительная	—	2,2 А46S (П, С)	2,2 А46S (П, С)	—	2,8 А24S (С, П)	3,4Z А24Q (С, П)
		3,2 А46R (П, С)	3,2 А46R (П, С)		2,5 А24R (С, П)	3,2 АС24Q (С, П)
Производительная	—	<i>Чугун</i>		—		
		2,4 А30N (П)	2,4 А30N (П)		2,9 А24N	2,9 А24N
Производительная	—	<i>Цветные металлы</i>		—		
		1,0 А60S (Л)	1,0 А60S (Л)			

\* Вид сечения заготовки.

скорость резания – 40 м/с) и неметаллических материалов.

Для выбора отрезного круга PFERD рекомендует произвести следующую последовательность действий.

1. Отнести обрабатываемый материал к одной из следующих групп:

1-я группа – сталь легированная; ислегированная; инструментальная; быстрорежущая;

2-я группа – высококачественная сталь: коррозионно-стойкая; жаропрочная; кислото-стойкая. Отрезные круги для обработки этих материалов (INOX) не должны содержать железистых, сернистых и хлористых наполнителей;

3-я группа – высококачественная литейная сталь;

4-я группа – чугуи;

5-я группа – цветные металлы.

2. Выбрать необходимый диаметр круга.

3. Соотнести сечение заготовки с одним из следующих:

1) сплошное сечение – С;

2) профильное сечение – П;

3) лист – Л.

4. Выбрать одну из возможных разновидностей отрезных кругов, исходя из технико-экономических соображений, руководствуясь следующими критериями:

1) высокопроизводительные круги – применяются только при механизированном движении подачи;

2) производительные круги (дорогие);

3) универсальные круги (дешевые).

В табл. 17 приведены характеристики абразивных отрезных кругов.

## ВИДЫ ШЛИФОВАНИЯ

В зависимости от требований, предъявляемых к обрабатываемым поверхностям, применяют обдирочное (после прокатки, литья, штамповки и сварки), предварительное, чистовое и тонкое шлифование. В зависимости от формы и расположения шлифуемой поверхности различают виды шлифования: круглое наружное и внутреннее, бесцентровое, плоское и фасонное, резьбо-, шлице-, сферо- и зубошлифование. При этом обработка одной и той же поверхности может осуществляться несколькими способами, отличающимися по кинематике движений, форме рабочей поверхности круга, точности получаемых поверхностей и производительности.

**Круглое наружное шлифование** во вращающихся или неподвижных центрах (рис. 4), а также в патроне (цанге) применяют для обработки наружных поверхностей тел вращения. Различают два способа наружного шлифования в центрах: с продольной подачей, когда длина шлифуемой детали значительно превосходит высоту круга, и врезное, когда длина шлифуемой поверхности несколько меньше или равна высоте круга. Детали по 4–6-му квалитету обрабатывают в неподвижных центрах. При этом опорная коническая поверхность центровых гнзед детали или приспособления (оправки) для крепления детали должна точно соответствовать конусу на центрах. При искруглой форме центровых гнзед или неправильном угле конуса деталь не получает должной опоры и, смещаясь под действием сил резания, копирует неточность центровых гнзед.

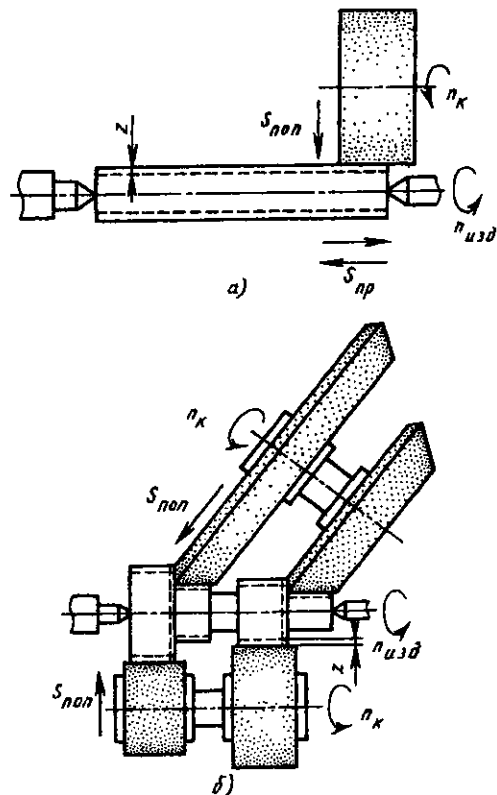


Рис. 4. Схемы круглого наружного шлифования: а – в центрах с продольной подачей; б – многокруговое шлифование

*Центровые отверстия* в незакаленных заготовках или оправках обрабатывают на центровальных и фрезерно-центровальных двусторонних автоматах и полуавтоматах. В закаленных деталях — на шлифовальных и доводочных станках с вертикальным расположением зацентровываемой детали (рис. 5, а, б).

Наиболее точными являются станки для шлифования с продольной подачей вращающейся детали или с планетарным движением шпинделя шлифовальной бабки при неподвижной детали (рис. 5, в, г). Отклонение от круглости обработанных на этих станках конических отверстий составляет 0,3...0,5 мкм, отклонение от соосности двух центровых отверстий на длине 100 мм — 1...5 мкм.

Обработку неподвижных упорных центров (переднего и заднего) круглошлифовальных станков для обеспечения высокой точности их формы (минимальных отклонений от круглости и прямолинейности образующих) чаще всего производят в шпинделе передней бабки станка, повернутом на 30°.

Для крупных шлифовальных цехов и заводов массового производства со значительным парком круглошлифовальных станков целесообразно шлифование и перешлифовку центров производить на центрошлифовальных станках. Шлифуемый упорный центр устанавливают в переходную втулку шпинделя бабки изделия, повернутой относительно направления продольной подачи стола на половину

угла конуса. После шлифования на месте или на специальном станке регулируют соосность упорного центра задней бабки с упорным центром передней бабки. Корректирование взаимного расположения осей обрабатываемой заготовки и направляющих стола (поворотом верхнего стола) можно выполнить и в процессе работы станка, если конусообразность шлифованной детали больше допустимой.

Отклонение от круглости опор шпинделя передней бабки менее влияет на отклонение формы поперечного сечения заготовки, если шпиндель установлен на гидро- или азростатических опорах (вместо подшипниковых опор), так как в этом случае жесткость шпинделя увеличивается до 20 Н/мкм и более. Параметр шероховатости  $Ra$  поверхности, обработанных на таких станках, не превышает 0,04 мкм. В особо точных станках источники тепла и вибраций (гидростанцию с приводом, баки и узлы подачи и очистки СОЖ) выносят за пределы базовых узлов и вводят устройство, благодаря которому температура нагрева смазочного материала не превышает допустимых значений и зазоры в опорах шпинделей соответствуют расчетным.

На прецизионных станках с ЧПУ получают стабильные импульсные поперечные подачи 1...2,5 мкм и плавные подачи при врезании. Точность выхода шлифовальной бабки в заданную позицию составляет 0,2...1 мкм (в зависимости от класса точности станка).

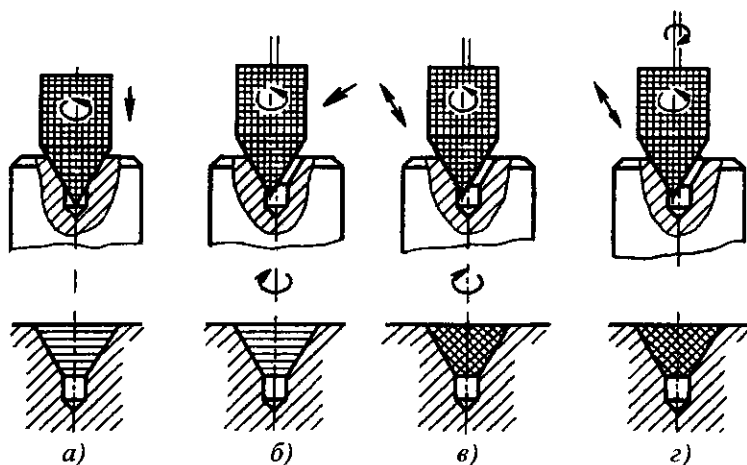


Рис. 5. Схемы шлифования несущих центров деталей:

а — сплошное шлифование; б — врезное шлифование; в — шлифование с продольной подачей; г — шлифование с продольной подачей и планетарным движением шлифовального шпинделя неподвижной детали

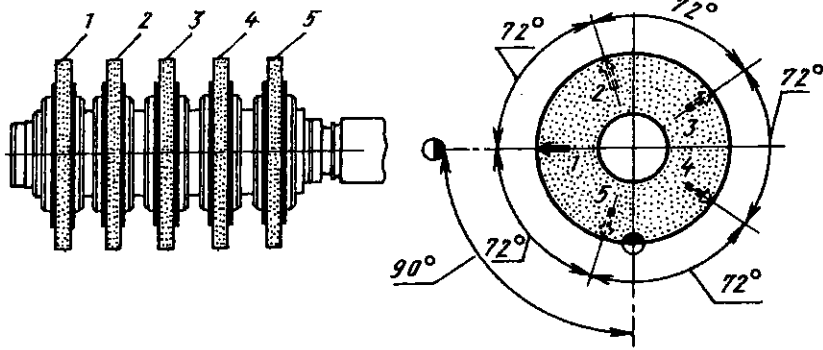


Рис. 6. Схема балансировки кругов при многокруговой наладке:  
1-5 – порядковые номера кругов; ⊕ –тяжелая часть круга

В условиях крупносерийного и массового производства, а также при обработке сложных фасонных деталей типа замков лопаток газотурбинных двигателей, как правило, шлифование выполняют методом врезания с применением многокруговых наладок (см. рис. 4, 6). Уравновешенность системы многокруговых наладок достигается при сборке кругов на запасном шпинделе. При этом имеющиеся неуравновешенности взаимно компенсируются за счет смещения на определенный угол тяжелой части каждого последующего круга относительно предыдущего (рис. 6). Круги, входящие в комплект, балансируют, и их тяжелые части отмечают стрелками, направленными под углом  $90^\circ$  по отношению к рабочему месту. При установке на оправку стрелки-указатели тяжелых частей двух кругов смещаются на угол, равный  $360^\circ/n$ , где  $n$  – число кругов в наладке. Уравновешенность кругов, входящих в комплект, должна соответствовать 1-му классу.

**Внутреннее шлифование** (рис. 7) применяют при обработке точных отверстий в закаленных стальных деталях. Шлифовальный круг и заготовка совершают вращательное движение и дополнительно круг – возвратно-поступательное движение вдоль оси заготовки. Шлифование внутренних закрытых поверхностей и канавок может быть выполнено врезанием (без продольной подачи). По характеру круговой подачи станки подразделяют на обычные и планетарные.

Патрон для установки деталей шлифуют на месте. При обдирочном шлифовании диаметр кулачков патрона больше наружного

диаметра зажимасмой детали на 0,08...0,15 мм; при чистовом шлифовании – на 0,03...0,05 мм. Торцовое биение патронов не должно превышать 0,01 мм. Наибольшую производительность и наименьшую шероховатость шлифованных поверхностей получают кругом, диаметр которого определен по формуле  $D_k = KD_{отв}$ , где  $K$  – коэффициент, зависящий от диаметра отверстия  $D_{отв}$ :

$D_{отв}$ , мм .....	30...40	50...150
$K$ .....	0,95	0,85...0,75

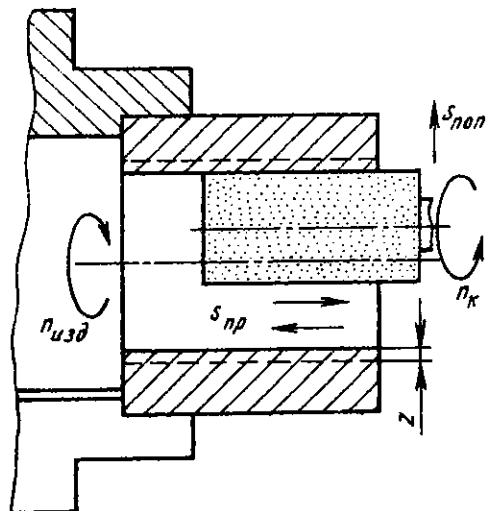


Рис. 7. Схема круглого внутреннего шлифования с продольной подачи

Правильность установки передней бабки проверяют пробным шлифованием по равномерности искрения при касании круга поверхности цилиндрического отверстия у двух противоположных торцов заготовки. Если искрение отсутствует, это означает, что отверстие имеет конусообразную форму, и необходимо регулирование осей передней и шлифовальной бабок. Зону продольного хода стола при шлифовании с осцилляцией сквозных отверстий устанавливают такой, чтобы обеспечить выход круга из отверстия с каждой стороны на  $(1/3 \dots 1/2) H$ , где  $H$  — высота круга.

Контроль диаметра шлифованного отверстия проводят в процессе шлифования щупом прибора активного контроля. При работе "до жесткого упора" в станке предусматривают компенсацию износа круга (рис. 8). Перед шлифованием первой детали вводимый в отверстие круг не доходит до внутренней поверхности детали на величину  $\Delta$ . При шлифовании снимается припуск  $\delta$  на сторону заготовки, а круг изнашивается на величину  $a$ . Бабка изделия должна переместиться на величину  $\Delta + \delta + a$ . При шлифовании следующей заготовки износ круга составит  $2a$  и т.д.; рабочий ход бабки будет соответственно возрастать. Для того чтобы рабочий ход бабки оставался постоянным, ее вспомогательный ход после шлифования одной заготовки уменьшают на износ круга, например, с помощью храпового механизма,

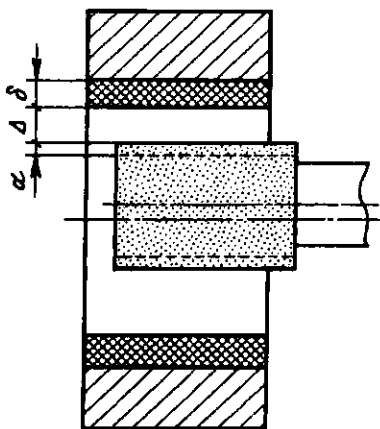


Рис. 8. Схема компенсации износа шлифовального круга при работе "до упора"

обеспечивающего компенсацию износа круга в пределах 0,002...0,6 мм с разбросом не более 0,002 мм, или электроинного устройства с шаговым двигателем — в стайках с ЧПУ.

**Бесцентровое шлифование** отличается от шлифования в центрах тем, что обрабатываемые детали шлифуются и им сообщается вращательное движение без крепления в центрах. Базой является обрабатываемая поверхность.

При круглом наружном бесцентровом шлифовании оба круга вращаются в одну сторону с разными скоростями: рабочий круг — со скоростью 30...35 м/с, ведущий — со скоростью, в 60...100 раз меньшей. Опорой для шлифуемой детали служит иож со скошенной рабочей поверхностью, расположенный между рабочим и ведущим кругами (рис. 9, а). Нож устанавливают так, чтобы центр детали находился выше центров станка (в большинстве случаев) или ниже их (шлифование длинных тонких деталей — прутков). Угол поворота ведущего круга по отношению к рабочему кругу, составляющий 2,5...6° при предварительном шлифовании и 1...2° при окончательном шлифовании, обеспечивает перемещение детали при шлифовании с продольной подачей напроход или до упора, а поворот в пределах 0,5° — плотный прижим детали к упору при врезном шлифовании.

При внутреннем бесцентровом шлифовании базой является наружная поверхность детали, контактирующая с опорным (поддерживающим), прижимным и ведущим роликами (рис. 9, б). При шлифовании деталей диаметром менее 30 мм опорный ролик заменяют опорным ножом. Разновидность схемы — бесцентровое внутреннее шлифование на неподвижных башмаках (рис. 9, в). Магнитная планшайба, укрепленная на конце шпинделя передней бабки станка, служит торцевой опорой детали и передает ей крутящий момент. Шлифовальный круг и обрабатываемая деталь вращаются в одном направлении. Для прижима детали к башмакам центр  $C$  детали смещается относительно центра  $O$  планшайбы на 0,1...0,5 мм. Способ применяют для шлифования колец подшипников, поршневых колец и других подобных деталей массового производства.

Смещение осей детали и правящего инструмента. При бесцентровом шлифовании смещений  $h$ ,  $h_1$  и  $h_0$  оси заготовки, иожа и положения правящего инструмента относительно

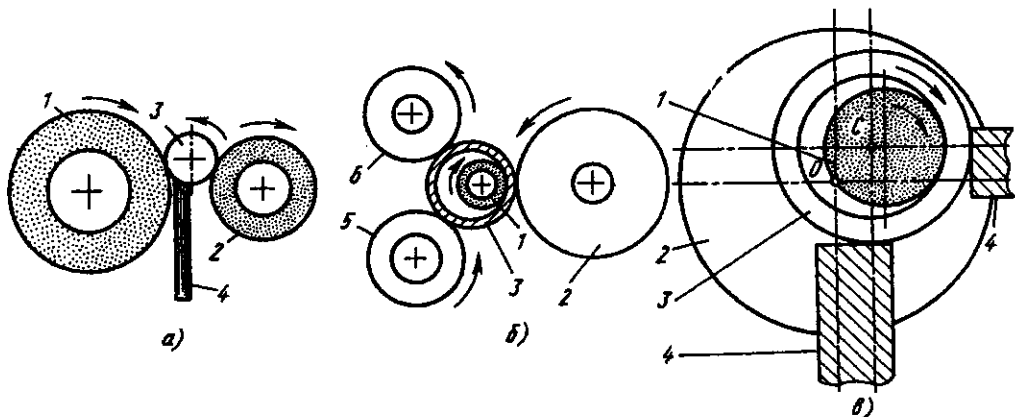


Рис. 9. Схемы бесцентрового шлифования:

*a* – наружного; *б* – внутреннего с опорным и прижимным роликами: 1 – рабочий круг; 2 – ведущий круг; 3 – деталь; 4 – опорный нож; *в* – внутреннего на неподвижных башмаках: 1 – рабочий круг; 2 – магнитная планшайба; 3 – деталь; 4 – башмаки

линии центров кругов (рис. 10) определяют по номограмме (рис. 11, *a*) и формуле

$$h_1 = d/2 [(1 - \sin \varphi) / \cos \varphi] - h + e \operatorname{tg} \varphi = Kd/2 - h + K_1 e,$$

где *d* – диаметр шлифованной детали, мм;  $\varphi$  – угол скоса опорной поверхности ножа, °; *K* и *K*<sub>1</sub> – коэффициенты (табл. 18); *e* – боковой зазор между шлифовальным кругом и плоскостью ножа (см. рис. 10), определяемый по номограмме (см. рис. 11, *б*).

**Плоское шлифование** применяют для обработки плоскостей периферией или торцом круга на станках с прямолинейным возвратно-поступательным или вращательным движением стола (рис. 12). Шлифование периферией

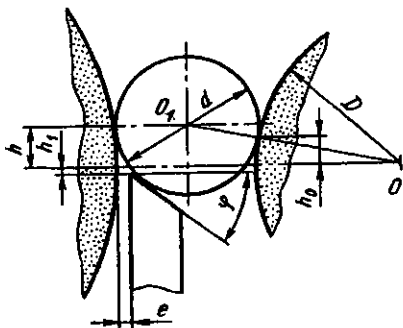


Рис. 10. Схема регулирования опорного ножа и установки детали на бесцентрово-шлифовальном станке

18. Коэффициенты *K* и *K*<sub>1</sub>

Угол скоса, °	0	10	20	30	40
<i>K</i>	1	0,84	0,70	0,58	0,47
<i>K</i> <sub>1</sub>	0	0,18	0,36	0,58	0,84

Примечание.  $K = (1 - \sin \varphi) / \cos \varphi$ ;  $K_1 = \operatorname{tg} \varphi$ .

круга является более универсальным видом обработки плоскостей, пазов и уступов длинных заготовок с жесткими требованиями по плоскостности в мелкосерийном и серийном производстве. Шлифование торцом круга – высокопроизводительный процесс, применяемый преимущественно в массовом производстве, в том числе для обдирочных работ с большим съемом металла (обработка литых заготовок, постоянных магнитов и др.). При этом целесообразно применять абразивные сегменты, закрепленные в сегментной головке, исключаящей прижоги при шлифовании больших поверхностей.

Разновидностью плоского шлифования является профильное шлифование фасонным кругом зубчатых реек и секторов, замковой части лопаток турбины, фасонных резцов и т.п. При серийном производстве отклонение формы не превышает 0,002 мм на длине  $l = 200$  мм при ширине заготовки  $b \leq 0,2l$ .

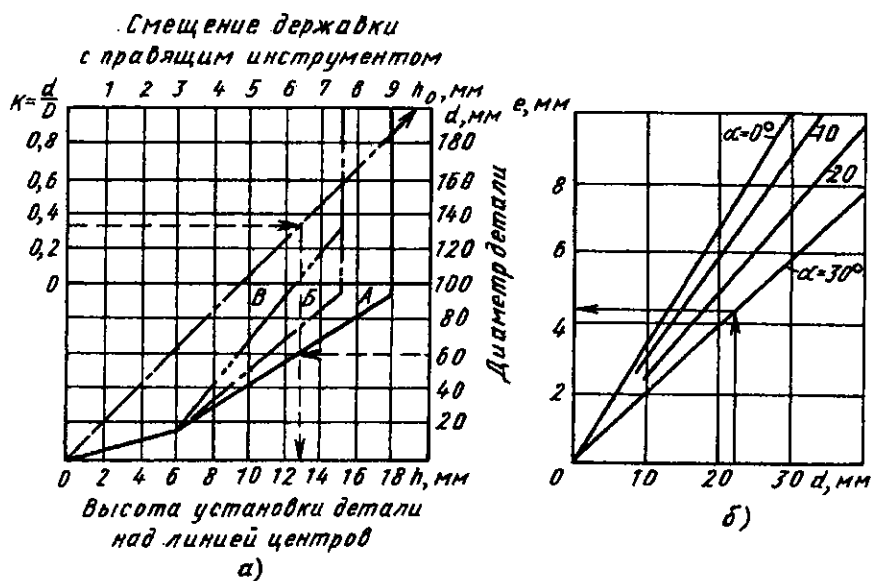


Рис. 11. Номограммы:

*а* – для определения высоты  $h$  установки детали и смещения  $h_0$  правящего инструмента;  
*б* – для определения бокового зазора  $e$  между кругом и опорным ножом; виды шлифования:  
*А* – предварительное; *Б* – комбинированное; *В* – чистовое;  $\alpha = \varphi$

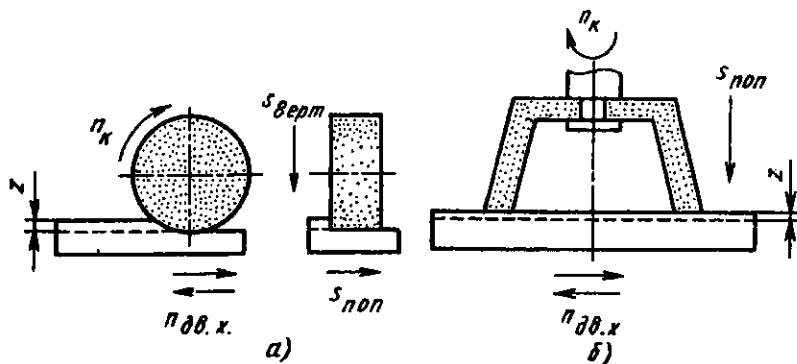


Рис. 12. Схемы плоского шлифования:

*а* – периферией круга с поперечной подачей; *б* – торцом круга

**Режимы резания** при круглом наружном и внутреннем, плоском и бесцентровом шлифовании, а также при зубо- и резбошлифовании приведены в табл. 19, достигаемые параметры шероховатости поверхностей  $Ra$  и коэффициент шлифования  $K$  при использовании кругов со стандартизованными характеристиками (по ГОСТ 2424–83 (в ред. 1996 г.)) – в табл. 20. Коэффициент  $K = W_m / W_a$ , где  $W_m$  –

объем снятого металла,  $mm^3$ ;  $W_a$  – объем изношенной части шлифовального круга,  $mm^3$ .

**Глубинное шлифование**, как круглое, так и плоское, целесообразно применять при больших неравномерных съемах металла (от 0,5 до 5 мм и более на проход) и шлифовании деталей из труднообрабатываемых жаропрочных и титановых сплавов. Обработку выполняют кругами, высокая пористость которых

## 19. Режимы резания при шлифовании заготовок из конструкционных и легированных сталей на наружных кругло-, внутри-, плоско-, бесцентрово-, зубо- и резбозшлифовальных станках

Шлифование	Наружный диаметр круга $D_k$ , мм	Обрабатываемая заготовка	Заготовка из стали	Диаметр обрабатываемой заготовки, мм	Припуск на обработку, мм, не более	Режимы резания					
						Скорость вращения круга, м/с	Скорость вращения заготовки, м/мин (обкат/мин)	Глубина резания, мм	Поперечная подача, мм/мин		
Круглое наружное врезанием	400...600	Тела вращения	ШХ15 по ГОСТ 801-78 (в ред. 2002 г.) (61...64 HRC)	0,1 $D_k$	0,5	35	35	-	1,2		
	3...10			1,25 $D_k$	0,2	18...25	16...20			0,3	
				13...100	0,5	35	35			0,8	
Плоское	250...450	Плоские детали	45 по ГОСТ 1050-74 (в ред. 1992 г.) (46,5...49,5 HRC)	-	1,0	35	0,03	2,5 мм/ход			
	350...600			Зубчатые колеса с $m = 1,5...4,5$ мм; $z = 19...30$ ; $B = 25$ мм	18ХГТ (57...63 HRC)	0,1 $D_k$	0,3	20...60	0,15	-	
300 (кругн типа 31П)		Р6М5 по ГОСТ 19265-73 (в ред. 1991 г.) (63...66 HRC)	-			0,3...0,4	30	0,02 $D_k$	0,4...0,5		0,03
								0,06 $D_k$	1,6...2,0		0,05
Резбозшлифование	250...350	Метчики, $l = 20$ мм	Р6М5 по ГОСТ 19265-73 (в ред. 1991 г.)	-	0,4...0,5	32	0,03	2,5...3,0			
	400; 500								Метчики, $l = 35$ мм	42	0,05

Примечания: 1. При круглом, внутреннем, плоском и бесцентровом шлифовании используют водные СОЖ; при резбозшлифовании - индустриальное масло М-20А по ГОСТ 20799-75 (в ред. 2001 г.); зубошлифование проводят без СОЖ.

2. Скорость движения подачи, мм/мин: при плоском шлифовании - 20, при бесцентровом шлифовании - 2,0.



20. Достигаемая шероховатость поверхностей и коэффициенты шлифования  $K$  при использовании кругов по ГОСТ 2424-83 (режимы резания по табл. 19)

Вид шлифования	Тип круга	Размеры круга, мм		Характеристика круга			Коэффициент шлифования, не менее	Параметр шероховатости поверхности $R_a$ , мкм, не более
		Наружный диаметр	Высота, не более	Зернистость абразивного материала	Степень твердости	Структура		
Круглое: наружное; врезайное; внутреннее	1; 5; 7	400; 450	63	25...16	CM1; CM2	7	-	1,25
		500; 600	80					
		3...5	16	8...4		7-9		
		6; 8		12...6		7; 8		
		10...32	32					
		32...63	63	25...16				
	62...100	100		5				
Плоское	1; 5; 6; 7; 11	250...450	63	40...25	CM2 - CM1	5; 6	-	0,63
		300...450	200					
		500...600	250	25...16				
Бесцентровое напроход	1	Св. 200	40	40...25	M3 - CM1	7-9	-	1,25
		300	10; 13	25...16				
Зубошлифование обкаткой	12	Св. 200	40	40...25	CM2 - CM1	5; 6	-	0,63
		300	10; 13	25...16				
Резьбошлифование	2	250...350;	32	12...4	CT1 - CT3	8; 9	-	1,25
		400; 500						

П р и м е ч а н и я. 1. Для изготовления кругов использованы абразивные материалы марок 24А и 25А.

2. Для кругов из хромитанитового электрокорунда марки 91А коэффициент шлифования умножают на 1,2.

3. При скорости круга, превышающей 35 м/с, коэффициент шлифования умножают на поправочный коэффициент:

Рабочая скорость круга, м/с ..... 50 60 80

Поправочный коэффициент ..... 1,25 1,6 2,2

4. Для кругов, сертифицированных по ИСО 9000, значения эксплуатационных показателей качества умножают на 1,2.

достигается применением порообразующих веществ – наполнителей: перлита (П), синтетического полистирола (ПСС) и других веществ, выгораемых или выплавляемых в процессе изготовления круга. Шлифовальные шпиндели станков для глубинного шлифования снабжены мощными электродвигателями 10 кВт и более.

Шлифование осуществляют при малых плавных продольных подачах  $S_{\text{прод}} \leq 0,2$  м/мин с обильным подводом СОЖ; станки оснащены устройствами для тонкой очистки СОЖ.

**Приспособления** для установки и крепления шлифуемых заготовок приведены в табл. 21.

### 21. Приспособления для установки и закрепления заготовок при шлифовании

Приспособления	Область применения
<i>Круглое шлифование</i>	
Неподвижные центры	Для изготовления деталей: точных любых тонкостенных повышенной точности
Вращающиеся центры	
Конусные разжимные гидропластовые оправки	
<i>Внутреннее шлифование</i>	
Самоцентрирующие трехкулачковые и цанговые патроны, в том числе пневматические	Для изготовления любых деталей
Четырехкулачковые патроны	Шлифование отверстий в заготовках с неконцентричными базовыми поверхностями
Мембранные патроны (винтовые, кулачковые и роликовые)	Для точного центрирования жестких заготовок
Магнитные патроны	Шлифование отверстий и торцов в заготовках колец и дисков
<i>Бесцентровое шлифование</i>	
Опорные ножи: ось детали выше линии центров кругов	Для изготовления коротких и жестких деталей
ось детали ниже линии центров кругов	То же и длинных заготовок с искривленной осью
Опорный и прижимной ролики	При внутреннем шлифовании
<i>Плоское шлифование</i>	
Магнитные плиты и столы	Для изготовления деталей: простой конфигурации простой конфигурации с выступами корпусных немагнитных в крупносерийном производстве
Магнитные блоки и призмы	
Пневматические и гидравлические тиски с унифицированными губками	
Лекальные тиски, опорные планки, угольники	Для шлифования: взаимно перпендикулярных поверхностей лысок на цилиндрических заготовках поверхностей, расположенных под углом к базам нежестких заготовок
Центры	
Синусные плиты, линейки	
Вакуумные, электростатические столы	

## АЛМАЗНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИНСТРУМЕНТЫ

Алмаз и эльбор в 3–4 раза превосходят по твердости и износостойкости обычные абразивные материалы (рис. 13), поэтому их в основном применяют для абразивной обработки высокотвердых и трудношлифуемых металлических и неметаллических материалов.

**Алмазные порошки** в зависимости от вида сырья, из которого они изготовлены, обозначают буквами: А – из природных алмазов, АС – из синтетических алмазов, АР – из синтетических поликристаллических алмазов; в зависимости от типа поликристаллических алмазов к обозначению шлифпорошка добавляют буквенный индекс: В – типа "баллас", К – типа "карбонадо", С – типа "спеки". Далее следует цифровой индекс, которым обозначают:

– в шлифпорошках из природных алмазов – содержание зерен изометрической формы, выраженное десятками процентов;

– в шлифпорошках из синтетических алмазов – среднее арифметическое значение показателей прочности на сжатие порошков всех зернистостей определенной марки, выраженное в ньютонах;

– в шлифпорошках из синтетических поликристаллических алмазов – среднее арифметическое значение показателей прочности на сжатие порошков всех зернистостей определенной марки, выраженное в сотых долях ньютонов.

К марке шлифпорошка может быть добавлен индекс, характеризующий отличительное свойство этой марки, например: термостойкость – Т, покрытие – М. Покрытия подразделяют на металлические (например, пленкой карбида металла – К), неметаллические (напри-

Твердость по Кнупу, (Н/мм<sup>2</sup>)

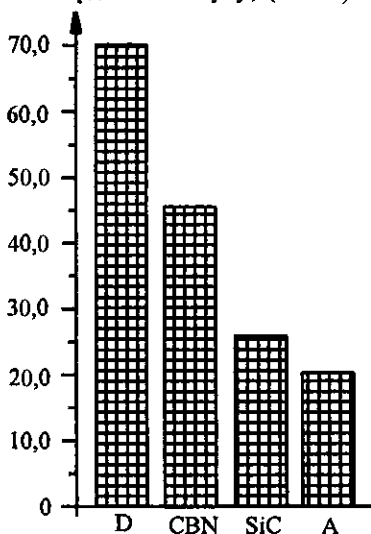


Рис. 13. Твердость алмаза, эльбора и абразивных материалов (данные фирмы PFERD): D – алмаз; CBN – кубический нитрид бора; SiC – карбид кремния; А – электрокорунд

мер, пленкой кремния – КМ) и композиционные. Они повышают прочность и износостойкость абразивных зерен, предохраняют их от раскалывания и выкрашивания, обеспечивают лучшее удерживание их связкой, способствуют снижению температуры в зоне резания и улучшают физико-механические свойства связки.

Марки алмазных порошков в соответствии с ГОСТ 9206–80 (в ред. 1996 г.) и область их применения приведены в табл. 22; зернистость шлифпорошков, микропорошков и субмикропорошков – в табл. 23.

### 22. Алмазные порошки (ГОСТ 9206–80) и область их применения

Марка алмазного порошка	Характеристика	Используют для изготовления инструментов
<i>Шлифпорошки</i>		
A1	Дробленые природные алмазы с содержанием соответственно не менее 10...80 % зерен изометрической формы	На металлических связках для обработки технического стекла, кварца, керамики, ферритов
A2; A3		На металлических связках при обработке технического стекла, керамики и других хрупких материалов

Продолжение табл. 22

Марка алмазного порошка	Характеристика	Используют для изготовления инструментов
A5	Дробленые природные алмазы с содержанием соответственно не менее 10...80 % зерен изометрической формы	Шлифовальных кругов на металлических связках (в том числе изготавливаемых гальваническим методом) для обработки камня твердых пород и керамики, правящего и бурового инструмента
A8		Бурового, правящего и для камиеобработки
AC2	Из синтетических алмазов повышенной хрупкости; зерна представлены преимущественно агрегатами с развитой поверхностью	На органических связках, применяемых на чистовых и доводочных операциях при обработке твердых сплавов и сталей
AC4 AC6	Зерна в виде агрегатов и сростков Зерна – в основном несовершенные кристаллы, их обломки и сростки	На органических и керамических связках, применяемых при обработке твердых сплавов, керамики и других хрупких материалов; на металлических связках, работающих при повышенных нагрузках
AC15	Зерна – в основном целые кристаллы, их обломки и сростки; обладают высокими прочностными свойствами; коэффициент формы зерен не более 1,6	На металлических связках, работающих в тяжелых условиях (отрезка и обработка стекла, шлифование и полирование камня)
AC20	Зерна – целые кристаллы, их обломки и сростки; обладают повышенной прочностью; коэффициент формы зерен не более 1,5	Для работы в тяжелых условиях (черновое хонингование, обработка и отрезка стекла, железобетона)
AC32	Зерна – в основном хорошо ограниченные целые кристаллы и их обломки; обладают повышенными прочностными свойствами; коэффициент формы зерен не более 1,2	На металлических связках (бурение, правка шлифовальных кругов, черновое хонингование, резка и обработка камня средней твердости)
AC50	Зерна – в основном хорошо ограниченные целые кристаллы и их обломки; обладают повышенными прочностными свойствами; коэффициент формы зерен не более 1,18	Для работы в особо тяжелых условиях (бурение пород 9–10-й категории буримости, отрезка керамики, кварцевого стекла, корунда)
APB1	Дробленые поликристаллические алмазы из синтетических алмазов типа "баллас"	Применяемых для черного хонингования чугунов, резки стеклопластиков
APK4	Дробленые синтетические алмазы типа "карбонадо"	Для работы в тяжелых условиях (хонингование, камиеобработка)
APC3; APC4	Дробленые синтетические алмазы типа "спеки"	Для работы в особо тяжелых условиях (бурение, правка шлифовальных кругов, камиеобработка)

Окончание табл. 22

Марка алмазного порошка	Характеристика	Используют для изготовления инструментов
<i>Микропорошки</i>		
AM5; ACM	Нормальная абразивная способность	Доводка и полирование деталей машин и приборов из закаленных сталей, сплавов и керамики, стекла, полупроводниковых материалов
АН; АСН	Повышенное содержание основной фракции и повышенная абразивная способность	Доводка и полирование твердых и сверхтвердых труднообрабатываемых материалов, корунда, керамики, алмазов, драгоценных камней
<i>Субмикропорошки</i>		
AM5; ACM5	Содержание крупной фракции до 5 %	Свертхокая доводка и полирование деталей из твердых сплавов, закаленных сталей и труднообрабатываемых материалов. Обработка полупроводниковых материалов
AM1; ACM1	Содержание крупной фракции до 1 %	

## 23. Зернистость алмазных порошков, мкм

Шлифпорошки при диапазоне зернистостей		Микропорошки	Субмикропорошки
широком	узком		
2500/1600	2500/2000	60/40	0,7/0,3
1600/1000	2000/1600	40/28	0,5/0,1
1000/630	1600/1250	28/20	0,3/0
630/400	1250/1000	20/14	0,1/0
400/250	1000/800	14/10	0,7/0,3
250/160	800/630	10/7	0,5/0,1
160/100	630/500	7/5	0,3/0
100/63	500/400	5/3	0,1/0
63/40	400/315	3/2	
	315/250	2/1	
	250/200	1/0	
	200/160		
	160/125		
	125/100		
	100/80		

Примечания: 1. Для шлифпорошков числитель дроби соответствует размеру стороны ячейки в свету, при котором зерна основной фракции проходят через сито, знаменатель – размеру стороны ячейки в свету, при котором зерна задерживаются на сите.

2. Для микро- и субмикропорошков числитель дроби соответствует наибольшему размеру зерен основной фракции, знаменатель – наименьшему размеру зерен этой фракции.

В табл. 24 приведено сравнение обозначений размеров зерна алмазов по FEPA, ИСО и американскому стандарту.

*Алмазные пасты* изготавливаются марок и зернистостей, приведенных в табл. 25, где указаны также рекомендуемые области применения паст.

Пасты по смываемости изготавливают: смываемые водой (В); смываемые органическими растворителями (О); смываемые водой и

органическими растворителями (ВО), а по консистенции – мажобразные (М); твердые (Т) и жидкие (Ж). В зависимости от состава связующих компонентов пасты подразделяются на типы, указанные в табл. 26.

Пасты изготавливают с нормальной (Н), повышенной (П) и высокой (В) массовыми долями алмазов. Массовая доля алмазов в пасте, а также обязательный цвет пасты и упаковки указаны в табл. 27.

#### 24. Зернистости порошков алмаза и кубического нитрида бора, регламентируемые международными стандартами

Обозначения зернистостей по стандартам						Размеры ячеек сит по ИСО, мкм		
Стандарты FEPA				Стандарт США ASTM-E-11-70 для алмаза и кубического нитрида бора				
Алмаз		Кубический нитрид бора						
Узкий диапазон	Широкий диапазон	Узкий диапазон	Широкий диапазон	Узкий диапазон	Широкий диапазон			
D1181	D1182	B1181	B1182	16/18	16/20	1180/1000		
D1001		B1001		18/20		1000/850		
D851	D852	B851	B852	20/25	20/30	850/710		
D711		B711		25/30		710/600		
D601	D602	B601	B602	30/35	30/40	600/500		
D501		B501		35/40		500/425		
D426	D427	B426	B427	40/45	40/50	425/355		
D356		B356		45/50		355/300		
D301	–	B301	–	50/60		300/250		
D251	D252	B251	B252	60/70		250/212		
D213		B213		70/80	212/180			
D181		B181		80/100		180/150		
D151		B151		100/120	150/125			
D126		B126		120/140	125/106			
D107		B107		140/170	106/90			
D91		B91		170/200	90/75			
D76	–	B76	–	200/230		75/63		
D64		B64		230/270	63/53			
D54		B54		270/325	53/45			
D46		B46				325/400		45/38

## 25. Области применения паст в зависимости от марок алмазных порошков

Марка алмазного порошка	Зернистость алмазного порошка диапазонов		Рекомендуемая область применения
	узкого	широкого	
A2, A3, AC2	125/100 – 50/40	100/63; 63/40	Грубая доводка различных материалов
AM, ACM, AN, ANH	60/40 – 5/3	60/28 – 5/2	Полирование, доводка, тонкое полирование различных материалов (сплавы черных и цветных металлов, цветные металлы, неметаллические материалы)
AM, ACM	3/2 – 1/0	3/0; 2/0	
AM1, ACM1, AM5, ACM5	1/0,5 – 0,1/0	–	Тонкое полирование металлов, сплавов, неметаллических материалов

## 26. Области применения алмазных паст в зависимости от их типа

Тип пасты	Смываемость	Консистенция	Рекомендуемая область применения
A	BO	M, Ж	Обработка инвара, бериллия, тугоплавких металлов
C	B	M, Ж	Обработка полупроводниковых материалов
D	O	M, Ж	Обработка цветных металлов и сплавов
K	BO	M, T	Обработка драгоценных, полудрагоценных и поделочных камней
P	B, BO	M, Ж	Обработка сталей, твердого сплава, стекла, заточка режущего инструмента из нитрида бора, полупроводниковых материалов
E	O	M	Обработка закаленных сталей, чугуна
F	BO	M, T	Обработка черных металлов
B	B, BO	M	Обработка поликора, армированных пластмасс, сталей, полупроводниковых материалов
G	O	M, T	Обработка черных и цветных металлов, их сплавов, неметаллических материалов
L	BO	M	Обработка сталей, стекла, полупроводниковых материалов
X	B, BO	M, T	Обработка стекла, полупроводниковых материалов, твердых сплавов

## 27. Алмазные пасты по ГОСТ 25593–83 (в ред. 1992 г.)

Зернистость алмазного порошка диапазонов		Массовая доля алмазов в пасте, %			Цвет пасты и этикетки
узкого	широкого	Н	П	В	
125/100 – 80/63	100/63	40	60	–	Сиреневый
63/50; 50/40	63/40	20	40		
60/40; 40/28	60/28; 40/20	8	20	40	Красный
28/20 – 14/10	28/14 – 14/7	6	15	30	Голубой
10/7 – 5/3	10/5 – 5/2	4	10	20	Зеленый
3/2 – 1/0	3/0; 2/0	2	5	10	Желтый
1/0,5	0,1/0				Не окрашивается

Абразивная способность паст и шероховатость обработанной поверхности соответствуют величинам, указанным в табл. 28.

Пример условного обозначения пасты из синтетических алмазных порошков марки АСМ, зернистостью 7/5 с нормалью массовой долей алмазов (Н), смываемых органическими растворителями (О), мажеобразной консистенции (М), типа Е:

*Паста алмазная АСМ 7/5 НОМ Е*  
*ГОСТ 25593-83.*

*Алмазные круги и головки* характеризуются формой и размерами, маркой алмаза, зернистостью алмазного порошка и его концентрацией в алмазоносном слое, связкой. Алмазные головки предназначены для обработки внутренних поверхностей твердосплавных матриц, пресс-форм, колец подшипников, керамических деталей. Достижимый параметр шероховатости поверхности  $Ra = 0,32$  мкм. Размеры алмазных кругов и головок даны в табл. 29 и 30.

### 28. Технологиические возможности алмазных паст

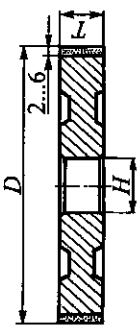
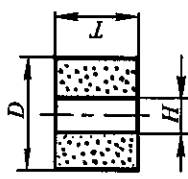
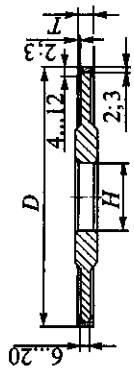
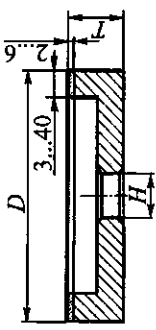
Зернистость алмазного порошка	Абразивная способность пасты, мг, не менее, при массовой доле алмазов			Параметр шероховатости поверхности $Ra$ , мкм	
	Н	П	В	До обработки	После обработки
125/100	160	220			
100/80	150	200			
100/63	140	180			
80/63	140	190	—	—	—
63/50	130	180			
63/40	120	160			
50/40	125	175			
60/40	67	127	175	0,400	0,195
60/28	60	110	145		0,185
40/28	62	123	163	0,200	0,155
40/20	55	100	135		0,150
28/20	57	112	157	0,160	0,120
28/14	50	90	130		0,115
20/14	52	102	153	0,125	0,095
20/10	45	85	125		0,085
14/10	47	97	148	0,100	0,075
14/7	40	90	120		0,070
10/7	42	93	143	0,080	0,060
10/5	35	75	115		0,055
7/5	37	82	137	0,063	0,045
7/3	30	65	110		0,042
5/3	30	60	100	0,050	0,038
5/2	25	50	80		0,035
3/2				0,040	0,030
2/1				0,032	0,023
3/0	—	—	—		0,021
1/0				0,025	0,020
2/0					

Примечания: 1. Абразивная способность пасты установлена для доводки образцов из твердого сплава ВК6 или ВК8 на притире из керамики ВК-94-1 (22ХС) при средней скорости резания 0,75 м/с и давлении 66 кПа навеской пасты (из микропорошков массой 0,1 г или из шлифпорошков массой 0,3 г) за 20 мин (пасты из шлифпорошков) или 30 мин (пасты из микропорошков) обработки.

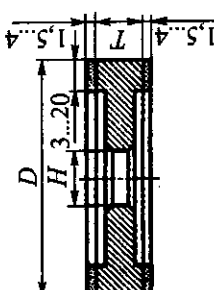
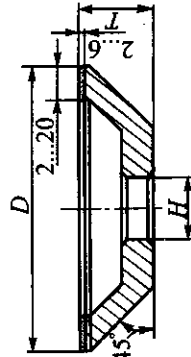
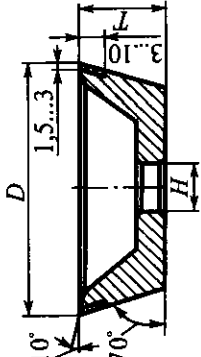
2. Шероховатость обработанной поверхности установлена доводкой при том же режиме образцов из твердого сплава на притире из стали 10 навеской пасты массой 2...4 мг в течение 2...5 мин обработки.



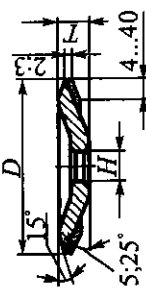
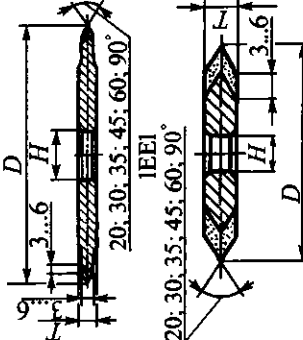
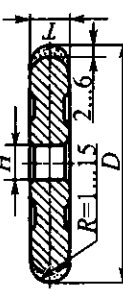
29. Типы, основные размеры и область применения алмазных шлифовальных кругов

Типы кругов	ГОСТ	Форма круга	Основные размеры, мм			Область применения
			D	H	T	
Плоские: прямого профиля	16167-90	 <p>1A1</p>	16...500	6...127; 203	2...80	
			 <p>A8</p>	6...14	2; 3; 4	
трехсторонние прямого профиля	16169-81 (в ред. 1991 г.)	 <p>14U1</p>	125...250	32; 51; 76	16...20	
			 <p>6A2</p>	50...300	16...76	
с выточкой	16170-91					

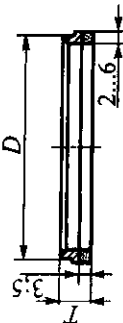
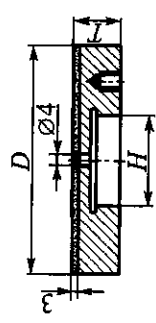
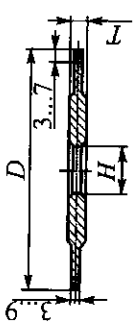
Продолжение табл. 29

Типы кругов	ГОСТ	Форма круга	Основные размеры, мм			Область применения
			D	H	T	
с двухсторонней выточкой	16171-91	9A3 	100...250	20...127	10...37	Обработка скоб и другого измерительного инструмента; заточка и доводка инструмента
Чашечные конические с углом 45°	16172-90	12A2-45° 	50...250	16...76	20...52	Заточка и доводка режущего инструмента
конические с углом 70°	16173-91	11V9-70° 	50...150	16...51	20; 32; 40	

Типы кругов	ГОСТ	Форма круга	Основные размеры, мм			Область применения
			D	H	T	
Тарельчатые: с углом 45°	16174-81 (в ред. 1992 г.)	<p>12V5-45°</p>	50...150	16...51	20; 25; 32; 40	Заточка и доводка режущего инструмента со спиральными зубом
конической формы с углом 20°	16175-90	<p>12A2-20°</p>	50...250	10...51	6...23	
с углом 25°	16176-82 (в ред. 1991 г.)	<p>12R4</p>	50...150	16; 20; 32; 51	6; 10; 13; 16	Заточка и доводка многолезвийного инструмента
с углом 20° и наклонным алмазносносным слоем	16177-82 (в ред. 1991 г.)	<p>12V5</p>	32...150	10...51	5...16	Заточка и доводка многолезвийного инструмента со спиральными зубом

Типы кругов	ГОСТ	Форма круга	Основные размеры, мм			Область применения
			D	H	T	
с углом 15 или 20° и алмазносным слоем с обратной стороны	16178-82 (в ред. 1991 г.)	12D9 	125...300	32; 51; 76	11...25	Заточка и доводка червячных фрез
Плоские: с двусторонним коническим профилем	16179-91	14EE1 и 1EE1 14EE1  20; 30; 35; 45; 60; 90° 1EE1 20; 30; 35; 45; 60; 90°	40...400	6...203	5...15	Обработка резьб и канавок
с полукруглым выпуклым профилем	16180-91	1FF1  R=1...1,5 2...6	50...250	16; 20; 32; 51	2...30	Обработка стержнеобразующих канавок и шрифование поверхностей с фасонным профилем

Окончание табл. 29

Типы кругов	ГОСТ	Форма круга	Основные размеры, мм			Область применения
			D	H	T	
Кольцевые	17006-80	2A2 	5...280	—	8; 10; 16; 20	Обработка сферических и плоских поверхностей из неметаллических материалов (стекла, кварца, керамики и др.) и твердых сплавов
Плоские	17007-80	6A2T 	100...400	40; 80	18; 20	Обработка плоских поверхностей из неметаллических материалов
Прямого профиля	24630-90	14A1 	100...250	20; 32; 51; 76	6; 8; 10	Обработка пазов и канавок

П р и м е ч а н и е. Ряды основных размеров алмазных кругов: D — 6; 8; 10; 13; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 75; 80; 100; 125; 150; 175; 200; 250; 300; 350; 400; 500; H — 2; 3; 4; 6; 10; 16; 20; 32; 51; 76; 127; T — 2; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12; 13; 15; 16; 20; 25; 30; 32; 35; 40; 50; 60; 80; 100.

## 30. Алмазные шлифовальные головки (ГОСТ 17122-85)

Наименование, тип	Эскиз	Основные размеры, мм			
		D	Y	T	L
Цилиндрическая, AW	<p>Для <math>D \leq 4</math> мм</p> <p>Для <math>D &gt; 4</math> мм</p>	3	3	3; 6	40
		4	4	4; 6	
		5	3	6; 8; 10	60
		6			
		7			
		8			
		10	6	6; 8; 10; 12	80
		12			
		16			
		20			
Угловая, DW		6	3	4	40
		8	6	6	60
		10			
		12	8	8; 10	80
		16			
		20			
Коническая, EW		6	3; 4	6	40
		8	3; 6	8	60
		10	6; 8	9	
		12	8; 10	10	80
		16			
		20			
Коническая усеченная, DIW		6	3	4	40
		8	6	6	60
		10			
		12	8	10	80
		16			
		20			
Сводчатая, FIW		6	3; 4	9	60
		8	3; 6	12	
		10	8; 10	14	
		12		16	80
		16		20	
		20	24		
Полусферовая, FW		6	3; 4	6	40
		8	3; 6	8	60
		10	8; 10		
		12		8	80
		16		12	
		20	14		

*Связка.* Алмазные круги изготавливают на металлических (М), органических (О) и керамических (К) связках. Использование электропроводящих связок позволяет шлифовать с подводом тока труднообрабатываемые материалы, в том числе постоянные магниты типа ЮНДК, твердые сплавы, что повышает производительность в 5...10 раз.

Металлические связки отличаются высокой прочностью и износостойкостью. Для лучшего самозатачивания кругов в связку добавляют наполнитель (электрокорунд), карбид кремния, карбид бора, стекло, а также стойкие при высоких температурах твердые смазочные материалы, обеспечивающие возможность шлифования без охлаждения.

Круги на органических связках хорошо самозатачиваются при шлифовании. Для увеличения их жесткости в связку добавляют в качестве наполнителя шлифпорошки карбида бора, карбида кремния и электрокорунда. Керамические связки хрупки, работают в режиме самозатачивания и изготавливаются как с наполнителем, так и без него.

Составы некоторых алмазных инструментов приведены в табл. 31.

Области применения алмазных инструментов с различными связками приведены в табл. 32; зернистость инструмента в зависимости от требуемой шероховатости обработанных поверхностей – в табл. 33.

**31. Составы связок для алмазных инструментов**

Марка	Содержание компонент, %														
	Медный порошок	Алюминиевый порошок	Цинковый порошок	Титановый порошок	Оловянный порошок	Кремний кристаллический	Нитрид бора	Пульвербакелит	Резина дробленая	Карбид бора	Стекло оконное	Углекислый литий	Фтористый кальций	Сурьма	Кадмий сернохлоридный
B1-10	49,2	—	—	—	—	—	—	24,5	—	26,3	—	—	—	—	—
MC-6П	76	—	—	—	19	—	—	—	—	—	—	—	5	—	—
M5-04	72	—	—	—	11	—	—	—	—	—	1,5	2	—	—	—
MO-4	30	36	19	1,5	4	5,5	4	—	—	—	—	—	—	—	—
B2-01	—	—	—	—	—	—	—	50	—	50	—	—	—	—	—
B3-01	—	—	—	—	—	—	—	67,5	32,5	—	—	—	—	—	—
B1-02	56,2	—	—	—	29	—	—	8,9	—	5,9	—	—	—	—	—
M2-01	80	—	—	—	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
MO-16	67	—	—	—	18	2,5	2,5	—	—	—	—	—	—	9,5	0,5

**32. Области применения алмазных инструментов на различных связках**

Марка		Область применения
алмаза	связки	
<i>Органическая связка</i>		
AC4; AC6	B1-01; B1-02; B2; B8	Обдирочное шлифование и заточка твердосплавных пластин без применения СОЖ, с применением СОЖ на повышенных режимах резания
AC2; AC4; AC6	B2-0; B2; B3; B1-10	Шлифование заготовок из твердого сплава и заточка твердосплавных инструментов без применения СОЖ и с применением СОЖ для чистовых и доводочных операций

Окончание табл. 32

Марка		Область применения
алмаза	связки	
АС2; АС4	БП-2; Б2; В1-02	Резьбошлифование, профильное шлифование заготовок из твердого сплава
АС2	В3-03 Р4 Р9 Р14Е	Полирование (параметры шероховатости, мкм): $Ra = 0,02...0,04$ ; $Rz = 0,025...0,1$ $Ra = 0,02...0,08$ $Ra = 0,04...0,32$ $Ra = 0,16...0,63$
<i>Металлическая связка</i>		
АС4; АС6; А	М2-01; М1-01; М10; М013	Шлифование фасонных поверхностей, резьбошлифование, отрезка материала, внутреннее шлифование заготовок из твердого сплава с применением СОЖ
АС4; АС6	М1-01; М5; МК	Электролитическое шлифование и заточка твердосплавного инструмента и твердосплавных пластин совместно со стальной державкой
АС6	М73	Хоингование закаленных и улучшенных сталей
А; АС15; АРК4	М13; М73; М23; М24	Хоингование закаленных и улучшенных сталей при повышенных давлениях (1,2 МПа и более)
АС6	МК3	Хоингование легированных, цементированных и закаленных сталей после предварительного шлифования
<i>Керамическая связка</i>		
АС4	К1-01	Шлифование твердых сплавов, заточка твердосплавных инструментов совместно со стальной державкой

### 33. Зернистость алмазного инструмента в зависимости от требуемой шероховатости обработанной поверхности

Параметр шероховатости обработанной поверхности $Ra$ , мкм	Зернистость инструмента со связкой		Область применения
	металлической	органической	
2,5...1,25	315/250 – 200/160	–	Предварительное шлифование, заточка режущего инструмента
2,5...0,63	200/160 – 125/100	125/100 – 80/63	Чистовое шлифование деталей, шлифование фасонных поверхностей и хрупких материалов
1,25...0,32	125/100 – 80/63; 315/250 – 250/200	–	Чистовое шлифование, заточка инструмента; предварительное хоингование
0,63...0,16	63/50 – 50/40	–	Доводка режущего инструмента, резьбошлифование с мелким шагом, чистовое шлифование
0,32...0,08	–	63/50 – 50/40	Отделочное шлифование
0,16...0,04	–	40/28 – 28/20	Окончательная доводка, суперфиниширование
0,08...0,02	–	20/14 – 5/3	Окончательное хоингование, шлифование резьбы с мелким шагом



Содержание алмаза в круге определяется массовой и относительной концентрацией алмаза (ГОСТ 14706–78 (в ред. 1985 г.)).

*Массовая концентрация алмаза* – отношение массы алмазного порошка к объему алмазосодержащего слоя в инструменте.

*Относительная концентрация алмаза* – отношение массовой концентрации алмаза к условной массовой концентрации алмаза, принятой равной 0,88 г алмаза в 1 см<sup>3</sup> алмазосодержащего слоя.

Алмазные шлифовальные круги изготавливают с относительной концентрацией 25; 50; 75; 100; 125 и 150 (соответствующая ей массовая концентрация алмазов: 0,22; 0,44; 0,66; 0,88; 1,1 и 1,32 г/см<sup>3</sup>). Специальные алмазные круги выпускают с относительной концентрацией 200 (массовая концентрация 1,76 г/см<sup>3</sup>). Для большинства операций применяют круги с относительной концентрацией алмаза 100. На доводочных операциях мелкозернистыми кругами допустимы относительные концентрации 25 и 50. Относительную концентрацию 100 применяют для тяжелых работ; целесообразность применения кругов с относительной концентрацией алмазов 150 и 200 должна быть экономически обоснована.

По техническим условиям (ГОСТ 16181–82 (в ред. 1996 г.)) относительная концентрация 25 маркируется цифрой 1; 50 – цифрой 2; 75 – цифрой 3; 100 – цифрой 4; 125 – цифрой 5; 150 – цифрой 6.

*Пример условного обозначения алмазного круга формы 1А1, размерами D×H×d = 300×40×76 мм, толщиной алмазного слоя*

$X = 5$  мм, из алмаза АС4, зернистостью 80/63, с относительной концентрацией 100, на связке Б2:

2720–0139 ГОСТ 16167–90 АС4 80/63 4 Б2.

Более подробная схема обозначения алмазного круга показана на рис. 14.

*Режимы резания* при алмазном шлифовании твердых сплавов, керамики и ситаллов приведены в табл. 34 и 35.

*Выбор СОЖ* при шлифовании керамики, ситаллов, твердых сплавов, а также сталей, цветных и алюминиевых сплавов производится по табл. 36 и 37.

При чистовом шлифовании необходимо осуществлять тонкую очистку СОЖ от стружки и шлама, что улучшает качество обработанных поверхностей, повышает стойкость круга и работоспособность СОЖ. Для тонкой очистки используют фильтры-транспортёры типа Х44-2 с фильтровальной бумагой, магнитные фильтры ФМ1-3 и др.

*Отрезку труднообрабатываемых неметаллических материалов:* керамики, ситаллов, лейкосапфира и других хрупких неметаллических материалов – выполняют алмазными кругами с внутренней и наружной режущей кромкой.

Алмазные отрезные круги с внутренней режущей кромкой изготавливают из алмазов АС зернистостью 50/40 на гальванической связке. Режимы резания: скорость круга 15...25 м/с; продольная подача, мм/мин: 10...25 при обработке кварца и 20...60 при обработке кремния. Достижимый параметр шероховатости поверхности  $R_a$ , мкм: 0,32...0,16 для кварца и 1,25...0,40 для кремния.

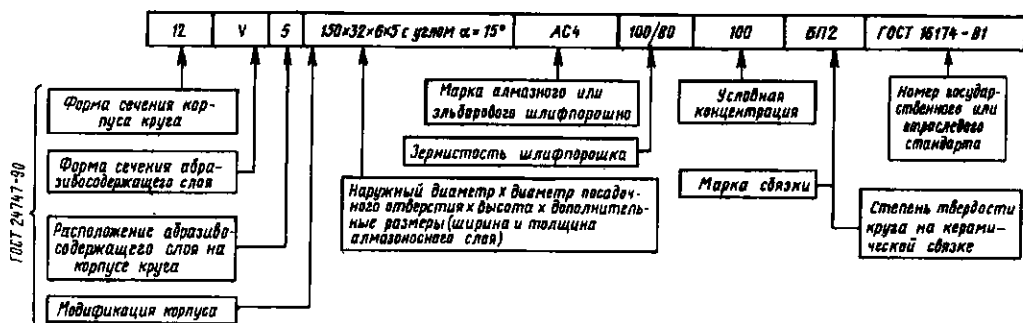


Рис. 14. Условное обозначение алмазного и эльборового круга и схема расшифровки

34. Режимы алмазного шлифования твердых сплавов

Вид шлифования	Вид обработки	Параметр шероховатости обработанной поверхности $R_a$ , мкм	Характеристика круга			Режимы шлифования					Число ходов	
			Марка алмаза	Зернистость	Относительная концентрация алмаза	Марка связи	$V_s$ , м/с	$V_s$ , м/мин	$S$ , м/мин	$S_{пов}$ , мм/ход		$t$ , мм
Круглое наружное	Предварительная	0,63...0,32	АС6	200/160 – 125/100	100...150	М1; Б2	30...35	20...30	0,6...0,7	–	0,10...0,07	5; 6
	Чистовая	0,32...0,16	АС6	63/50 – 50/40	100	Б1; Б3	20...25	10...15	0,5	–	0,02...0,01	4; 5
	Окончательная	0,16...0,04	АСМ	40/28 – 20/14	100	Б1	20...25	15...20	0,5	–	0,005	3; 4
		0,64...Rz 0,1	АСМ	14/10 – 10/7	50	К18-2	20...25	20...40	0,3	–	0,0025	3; 4
Внутреннее	Предварительная	1,25...0,63	АС6	200/160 – 125/100	150	М1	30...35	30...40	1,0	–	0,02	2
	Чистовая	0,63...0,32	АС6	63/50 – 50/40	100	М1	30...35	30...40	0,5	–	0,005	4
	Окончательная	0,32...0,16	АСМ	40/28 – 20/14	100	Б1	20...25	40...60	0,5	–	0,0025	6
Плоское	Предварительная	0,63...0,32	АС6	200/160 – 125/100	100...150	М1; Б2	30...35	–	12	1,0	0,2	–
	Чистовая	0,32...0,16	АС6	63/50 – 50/40	50...100	Б1; Б3	20...25	–	8	1,0	0,1	–
	Окончательная	0,164...0,08	АСМ	40/28 – 20/14	50...100	Б1	20...25	–	6	0,5	0,005...	2
	0,08...0,04	АСМ	14/10 – 10/7	50	К18-2	–	–	3	0,3	0,01 0,0025...	0,005	6

## 35. Режимы алмазного шлифования керамики типа ЦМ332 и ситаллов

Вид шлифования	Вид обработки	Параметр шероховатости обработанной поверхности $R_a$ , мкм	Характеристика круга				Режимы шлифования				Число выхаживаний	
			Марка алмаза	Зернистость	Марка связи	Относительная концентрация алмаза	$V_c$ , м/с	$V_n$ , м/мин	$S_n$ , м/мин	$S_{пов}$ , мм/ход		$t$ , мм
Круглое наружное	Предварительная	2,5...1,25 1,25...0,63	АС6 АС6	200/160 125/100	М1; МИ; МК	100...150	20	10...20	1,0	—	0,020	—
	Чистовая	0,63...0,32 0,32...0,16	АС2 АС2	100/80 – 80/63 63/50 – 50/40	Б1; Б3; Б4	100	20...25	10...20 20...30	0,7 0,5	—	0,01 0,005	2 4
	Окончательная	0,16...0,08 0,08...0,04	АСМ АСМ	40/28 16/7 – 5/3	Б4; Б1 К18-2	100 50	25...30	20...30	0,5 0,3	—	0,005 0,0025	4 6-8
	Предварительная Чистовая	1,25...0,63 0,63...0,32	АС6 АС6	200/160 – 125/100 63/50 – 50/40	Гальваническая	—	15...20	20...30 30...40	1,0...1,5 0,7	—	0,02 0,015... 0,01	— 4
Внутреннее	Окончательная	0,32...0,16 0,16...0,08	АСМ АСМ	40/28 – 20/14 10/7	Б1; Б4 К18-2	100; 125 100	15...20 40...50	40...50	0,5 0,3	—	0,01... 0,005 0,0025	4 6-8
	Предварительная	1,25...0,63	АС6	200/160 – 125/100	М1; МИ; МК	100...150	30...35	—	12	1,0	0,2	—
Плоское	Чистовая	0,63...0,32	АС2	160/125 – 80/63	Б1; Б3; Б4	100	30...35	—	8	1,0	0,1	—
	Окончательная	0,16...0,08	АСМ	20/14 – 10/7	К18-2	50	—	—	3	0,3	0,005... 0,0025	6

Керамика типа ЦМ332

Вид шлифовальной ванны	Вид обработки	Параметр шероховатости обработанной поверхности $R_a$ , мкм	Характеристика круга			Режимы шлифования				Число выжиганий			
			Марка алмаза	Зернистость	Марка связи	Относительная концентрация алмаза	$v_b$ , м/с	$v_w$ , м/мин	$S$ , м/мин		$S_{\text{пов}}$ , мм/ход	$t$ , мм	
Круглое наружное	Предварительная	1,25...0,63	АС6	200/160 – 125/100	М1; МИ; МК	100...250	20	10...20	1,5	0,02	1		
	Чистовая	0,63...0,32	АС2	100/80 – 80/63	Б1; Б4	100...150	20...25	20...30	0,7	0,015	2		
			АС2 АСМ	63/50 – 50/40 28/20 – 14/10	Б1; Б4 К18-2	100 50	25...30					0,005 0,0025... 0,001	
	Внутреннее	Предварительная	1,25...0,63	АС6	200/160	Гальваническая	–	15...20	20...30	1,5	0,02	2	
Чистовая		АС6		125/100	1,0								0,01... 0,005
		АС6		63/50 – 50/40	0,3								0,001
Плоское	Окончательная	0,63...0,32	АСМ	20/14 – 14/10	Б1; Б4	100...150	15...20	40...50	0,3	0,001	10-40		
	Предварительная	1,25...0,63	АС6	200/160 – 125/100	М1; МИ; МК	100...150	30...35	–	16	1,2	0,4...0,3		
												Чистовая	0,63...0,32
	Окончательная	0,32...0,16	АС2	63/50 – 50/40	К18-2	50	3	0,3	0,0025... 0,001	4			

## Силалы

**36. СОЖ, используемые при шлифовании алмазными кругами заготовок из твердых сплавов, керамики и ситаллов**

Компоненты	Массовая доля, %	Компоненты	Массовая доля, %
Триэтаноламин	0,4	Тринатрийфосфат	0,60
Нитрит натрия	0,4	Нитрит натрия	0,25
Тринатрийфосфат	0,3	Нафтиновое масло	0,60
Сода кальцинированная	0,3	Вода	98,55
Бура	0,5		
Смачиватель ОП7 или ОП10	0,1	Триэтаноламин	0,7
Вода	98,0	Нитрит натрия	0,6
		Бензоат натрия	0,3
Тринатрийфосфат	0,60	Смачиватель ОП17 или ОП10	0,1
Нитрит натрия	0,25		
Бура	0,25		
Сода кальцинированная	0,25		
Вода	98,65		
		Триэтаноламин	1,5
Тринатрийфосфат	0,25	Нитрит натрия	0,5
Нитрит натрия	0,25	Смачиватель ОП7 или ОП10	0,5
Бура	0,25	Вода	97,5
Сода кальцинированная	0,25		
Вазелиновое масло	0,50		
Вода	98,5		

**37. СОЖ, используемые при шлифовании заготовок из сталей, медных и алюминиевых сплавов**

Обрабатываемый материал	СОЖ	Состав СОЖ
Стали: конструкционные углеродистые	Растворы электролитов	2 %-ный раствор кальцинированной соды; 2 % кальцинированной соды, 1 % нитрита натрия, остальное вода
	Водомасляные эмульсии	3...5 %-ные эмульсии из эмульсолов НГЛ-205 и СДМУ
легированные и инструментальные	Водные растворы поверхностно-активных веществ	5...7 г/л триэтанолamina, 2,5 г/л нитрита натрия, 1 г/л смачивателя ОП7, остальное вода
высоколегированные (труднообрабатываемые)	Высоковязкие минеральные масла с присадками	Масло индустриальное И-20А с добавками: 5 % масла ВНИИ НП-232 или 3 % масла ЛЗ-23К
	Высококонцентрированные эмульсии	40 %-ная эмульсия из эмульсола НГЛ-205

Окончание табл. 37

Обрабатываемый материал	СОЖ	Состав СОЖ
	Водные растворы мыл и растворимых масел	3 % фтористого натрия, 1 % кремнийфторида морфолина, по 0,05 % высокомолекулярного смачивателя и продукта окиси этилена
		5 %-ный раствор хлористого бария в воде с добавлением 1,5 % нитрита натрия
Медные сплавы	Водные растворы масел, эмульсии	Водные растворы масел: ВНИИ НП-117 и ализаринового
Алюминиевые сплавы	Керосин	—
Алюминиевые сплавы	Водные растворы смачивателей	4 %-ная эмульсия на основе пасты: 36 % олеиновой кислоты; 41 % раствора каустической соды; 4,7 % буры; 8,4 % жидкого стекла; 3 % крепителя П; 5 % нитрита натрия; 1,9 % смачивателя ОП7
	Водомасляные эмульсии	5...10 %-ные эмульсии из эмульсолов Э-1 и НГЛ-205

Круги с наружной режущей кромкой формы 1AIR в соответствии с ГОСТ 10110-87 (в ред. 1995 г.) изготавливают на металлической связке методом порошковой металлургии. Диаметры кругов 50...500 мм; зернистость алмаза 400/315-50/40 (по ГОСТ 9206-80 (в ред. 1996 г.)).

Основные геометрические параметры отрезных кругов с внутренней режущей кромкой приведены на рис. 15, а численные значения этих параметров для кругов, выпускаемых фирмой NORTON, приведены в табл. 38.

Производительность отрезки алмазными кругами в 10...15 раз выше, чем абразивными

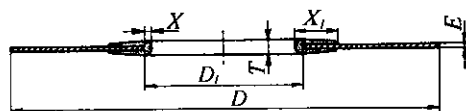


Рис. 15. Отрезной круг с внутренней режущей кромкой

кругами, при уменьшении брака и шероховатости поверхности реза.

Рекомендуемые режимы резания при отрезке различных материалов алмазными кругами с внутренней режущей кромкой приведены в табл. 39.

38. Размеры отрезных кругов с внутренней режущей кромкой производства фирмы NORTON, мм

$D$	$D_1$	$T$	$X$	$E$	$X_1$
206...860	83...304	0,26...0,43	0,10...0,15; 0,40	0,10...0,20	2,0...4,0

### 39. Режимы резания при отрезке различных материалов алмазными кругами с внутренней режущей кромкой

№ п/п	Обрабатываемый материал	Тип отрезного круга	Размер алмазного зерна	Скорость резания, м/с	Скорость подачи, мм/мин	Примечание
1	Нитрид алюминия	В	D91	18	5...25	—
2	Оксид алюминия			16	3...10	
3	Ферриты		D46	18	10...50	—
4	Арсенид галлия	10...20				
5	Фосфид галлия			19...21	30...70	
6	Германий					
7	Гранат	18		10...20		
8	Графит		D		D91	21
9	Арсенид индия	D46	18	10...20	—	
10	Фосфид индия			20...40		
11	Ниобат лития		20			3...10
12	Танталат лития					
13	Оптическое стекло	В	D91	15	5...20	—
14	Кварц			12	15...30	
15	Кварцевое стекло		15	5...20	—	
16	Самариевые ферриты		D91, D46	18		10...30
17	Сапфир*	D91	19	1...5	Вращение заготовки	

\* Алмазосодержащий слой имеет увеличенные размеры ( $X_1 = 4$  мм;  $X = 0,4$  мм).

Условные обозначения: D – режущая кромка – без механической обработки; В – режущая кромка (размер  $T$ ) обеспечена механической обработкой.

### ЭЛЬБОРОВЫЕ КРУГИ

Круги из кубического нитрида бора: эльбора и его разновидностей, кубонита, гексанита – применяют для шлифования высоколегированных конструкционных, инструментальных быстрорежущих, коррозионно-стойких сталей, жаропрочных сплавов и других труднообраба-

тываемых материалов. Типы и основные размеры кругов (по ГОСТ 17123–79 (в ред. 1993 г.)) приведены в табл. 40.

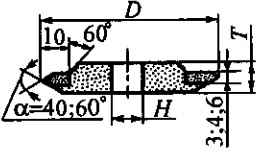
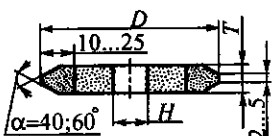
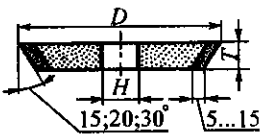
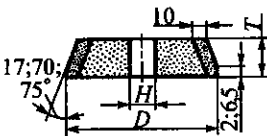
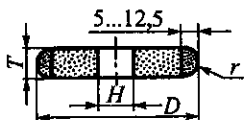
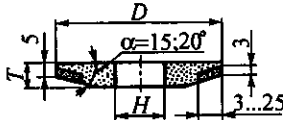
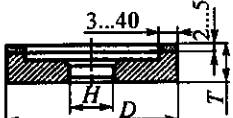
Для изготовления кругов используют эльбор марок: ЛЮ (обычной прочности), ЛП (повышенной прочности), ЛД (дроблестый), ЛЮМ (металлизированный) и ЛОС (со стеклопокрытиями).

40. Основные размеры эльборовых шлифовальных кругов различной формы по ГОСТ 17123-79 (в ред. 1993 г.)

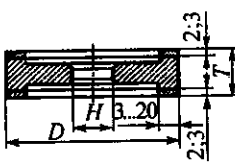
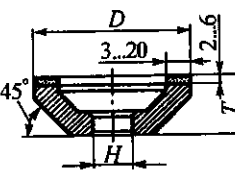
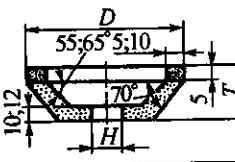
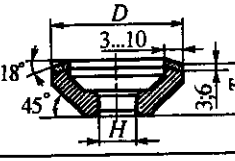
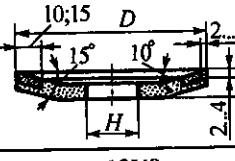
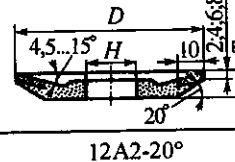
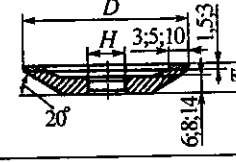
Типы	Форма круга	Основные размеры, мм		
		$D$	$H$	$T$
Плоские прямого профиля	<p>1A1-1</p>	25...500	6...305	5...50
	<p>1A1-2</p>	80...400	20...203	10...32
	<p>14A1</p>	75...200	20...32	8; 13
	<p>1A2</p>	400	127; 160	20
	<p>A8</p>	1...22	0,5...8	0,8...25
Плоские с двусторонним коническим профилем	<p>1E1</p>	25...150	8...51	8; 10
	<p>14EE1</p>	50...400	16...203	5



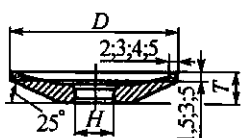
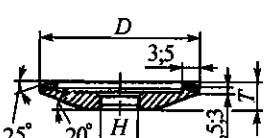
Продолжение табл. 40

Типы	Форма круга	Основные размеры, мм		
		<i>D</i>	<i>H</i>	<i>T</i>
Плоские с двусторонним профилем	1E6Q 	75...500	20...305	8; 10
	1D1 	60...500	13...305	10...20
Плоские с односторонним коническим профилем	1V1-1 	10...250	32; 76	8...32
	1R1 	100; 250	32; 76	10; 36
Плоские с полукругловыпуклым профилем	1F1X-1 	35...135	10...32	5...29
Профильные	4V9 	200; 250	32; 50,8; 76	16; 20
Плоские с выточкой	6A2 	75...250	20...76	20...30

Продолжение табл. 40

Типы	Форма круга	Основные размеры, мм		
		$D$	$H$	$T$
Плоские с двусторонней выточкой	9A3 	100...250	32; 76	20; 25
Чашечные конические	12A2-45° 	50...200	16...51	20...50
	11A2 	75...150	20; 32	35; 50
	12V5-45° 	50...160	16...32	20...35
Тарельчатые	12R9-1 	100; 125; 150	20; 32	10; 13; 16
	12V9 	220; 225; 275	40; 90	18; 20
	12A2-20° 	75...200	16...81	10...21,5

Окончание табл. 40

Типы	Форма круга	Основные размеры, мм		
		<i>D</i>	<i>H</i>	<i>T</i>
Тарельчатые	12R4 	80...200	20; 32	10...20
	12V5-20° 	75...125	20; 32	10; 11,5

\* Значения *t* для круга 1F1X-1: 3; 4; 5; 6; 7,5; 8,5; 9; 9,5; 12; 15,4; 17,9.

Связка кругов – органическая (О), керамическая (К), металлическая (М) – табл. 41.

Зернистость эльборовых кругов аналогична зернистости алмазных кругов и выбирается исходя из требований, предъявляемых к шероховатости обработанной поверхности: зернистость 250/200–14/10 – для кругов на керамической связке и 250/200–5/3 – для кругов на органической связке. Для получения шероховатости поверхности такой же, как при

обработке алмазным кругом, зернистость эльборового инструмента следует выбирать на номер меньше, чем зернистость алмазного круга (табл. 42).

Относительная концентрация эльбора в эльборосодержащем слое должна быть 100 (0,878 г/см эльборосодержащего слоя). Допускается по заказу потребителей изготавливать эльборовые круги с относительной концентрацией эльбора 25, 50, 75, 125 и 150.

#### 41. Марки связок кругов из кубического нитрида бора, области применения кругов

Марка		Область применения
кубического нитрида бора	связки	
ЛО, ЛП, ЛД	В2-01	Чистовое шлифование и доводка без охлаждения, заточка и шлифование инструмента с охлаждением
ЛОМ, ЛОС, КО (кубонит), КОМ, КОАМ, КМ, ГА (гексанит-А)	В1-02	
ЛО, ЛМ	КБ	Доводка инструментов с прямолинейными канавками
ЛО, ЛМ, КО, КМ	Б2	Профильное и чистовое шлифование резьб для получения параметра шероховатости поверхности $Ra = 0,04...0,16$ мкм
КОС	Б8	Заточка инструментов без охлаждения и с охлаждением
ЛО	БИ1	Высокопроизводительная заточка многолезвийного инструмента из быстрорежущих (в том числе из труднообрабатываемых) сталей без охлаждения

Окончание табл. 41

Марка		Область применения
кубического нитрида бора	связки	
ЛО, ЛМ	В1-10	Многопроходное шлифование, чистовая заточка и доводка инструмента с охлаждением
ЛО	С10	Чистовое и профильное шлифование, заточка и доводка инструмента с охлаждением и без него, резьбошлифование инструментов с применением охлаждения
КО	К19	Заточка инструментов из быстрорежущих (в том числе из труднообрабатываемых) сталей без охлаждения
КР, КРМ	М2-01	Резьбошлифование одноиточными кругами, шлифование и заточка фасонного инструмента с охлаждением, многопроходное и глубинное шлифование стружечных канавок мелкоразмерного инструмента
КР, КРМ	МО4	Шлифование (в том числе бесцентровое), многопроходная и глубинная заточка инструмента с охлаждением
КР, КРМ	МО16	Глубинная и многопроходная заточка инструмента узко-кромочными кругами с охлаждением
КРС	МО20, МО13Э	Электрохимическая (в том числе глубинная) заточка инструмента
ЛР	М2-О4Э (М15)	Электрохимическое шлифование и заточка инструмента
ГА (гексант-А)	МВ1К	Многопроходная и глубинная заточка инструмента

## 42. Зернистость и зерновой состав эльбора (ОСТ 2 МТ79-2-88)

Зернистость	Размер зерен фракций, мкм		Зернистость	Размер зерен фракций, мкм	
	основной	крупной		основной	крупной
	<i>Шлифзерно</i>		<i>Микропорошки (марки ЛМ)</i>		
Л20	250...200	315...250	ЛМ63	63...50	100...63
Л16	200...160	250...200	ЛМ50	50...40	80...50
Л12	160...125	200...160	ЛМ40	40...28	63...40
	<i>Шлифпорошки</i>		ЛМ28	28...20	50...28
Л8	100...80	125...100	ЛМ20	20...14	40...20
Л6	80...63	100...80	ЛМ14	14...10	28...14
Л5	63...50	80...63	ЛМ10	10...7	20...10
Л4	50...40	63...50	ЛМ7	7...5	14...7
			ЛМ5	5...3	10...5

Твердость инструмента из эльбора, как и обычных абразивных инструментов, характеризуется прочностью удержания зерен в связке. Круги на керамической связке выпускают следующих степеней твердости: мягкие – М2 и

М3; среднемягкие – СМ1 и СМ2; средние – С1 и С2; среднетвердые – СТ1, СТ2 и СТ3; твердые – Т1 и Т2 (табл. 43). Цифры 1, 2 и 3 характеризуют степень твердости инструмента в порядке ее возрастания. Для кругов на органиче-

ских связках КБ, Б1 и Б156 степень твердости не регламентируется. Крути на связке БИ1 выпускаются трех степеней твердости: М, С и Т.

*Структура* эльборовых кругов характеризуется отношением общего объема содержания эльбора и наполнителя из электрокорунда или карбида кремния (проценты) к объему связки. Структура 1 соответствует 60 %-ному объему зерен. Каждый следующий номер структуры соответствует объему эльборовых зерен, уменьшению на 2 %. Так, для структуры 6 объем зерен равен 50 %; 10 – 42 %; 12 – 38 %. Чем выше номер структуры, тем больше связки и меньше абразива.

Крути из эльбора на керамической связке изготавливают со структурой номеров 6–12.

Крути из эльбора на органической и металлической связках не имеют регламентации структуры.

*Пример условного обозначения* эльборового круга плоского прямого профиля второго исполнения с наружным диаметром  $D = 250$  мм, высотой  $T = 20$  мм, диаметром посадочного отверстия  $H = 76$  мм, толщиной эльборосодержащего слоя  $X = 5$  мм из эльбора повышенной прочности зернистостью 100/80, твердости СТ1, на керамической связке, структуры 7, допустимая скорость 50 м/с, с относительной концентрацией эльбора 150:

1А1-2 250 × 20 × 76 × 5 ГОСТ 17123-79  
ЛП 100/80 СТ1 К7 50 м/с 6.

*Режимы резания* при шлифовании эльборовыми кругами (по ГОСТ 24106-80 (в ред. 1990 г.)) даны в табл. 44; достигаемые при этом параметр шероховатости поверхности  $Ra$  и коэффициент шлифования – в табл. 45.

#### 43. Твердость кругов из эльбора на керамической связке

Степень твердости круга	Зернистость эльбора марок		
	Л10 – Л8	Л6 – Л5	Л4 и мельче
М3	8...22	29...40	50...60
СМ1	22...35	40...50	60...68
СМ2	35...48	50...59	68...76
С1	48...57	59...68	76...82
С2	57...66	68...76	82...88
СТ1	66...74	76...82	88...93
СТ2	74...81	82...89	93...98
СТ3	81...88	89...94	99...103
Т1	88...93	94...99	103...106
Т2	93...98	99...104	106...109

#### 44. Режимы резания при шлифовании деталей из стали Р6М5 кругами из эльбора ЛО или ЛД степени твердости С1 и С2 с относительной концентрацией эльбора 100

Вид шлифования	Связка	Рабочая скорость круга, м/с	Скорость движения подачи, м/мин	Поперечная подача, мм/дв. ход (мм/ход)	СОЖ
Торцом круга	Органическая	20...40	1,0...2,0	0,04	Без охлаждения
	Керамическая	20...35			
Периферией круга	Органическая	15...45	3,0...10,0	0,002...0,05	Водяной раствор соды 1 % и нитрита натрия 1 %
	Керамическая	20...35			
				(1,0...3,0)	Без охлаждения

### 45. Достижимые параметры шероховатости $Ra$ и коэффициент шлифования эльборовыми кругами по ГОСТ 17123-79 (режимы резания – по табл. 44)

Вид шлифования	Тип круга	Связка	Зернистость эльбора	Коэффициент шлифования, не менее, для кругов с наружным диаметром, мм					Параметр шероховатости обработанной поверхности $Ra$ , мкм, не более		
				До 80		Св. 80 до 160		Св. 160			
				Ширина эльборосодержащего слоя, мм							
				Св. 2 до 5	Св. 5 до 15	Св. 15	Св. 5 до 15	Св. 15			
Торцом круга	6A2	Органическая	250/200 – 125/100 100/80 – 50/40	100	110	170	210	190	240	0,63	
	9A3			80	90	140	170	160	200	0,40	
	11A2	Керамическая	250/200 – 125/100 100/80 – 50/40	120	130	200	250	230	280	0,63	
	12A2			90	110	170	210	190	240	0,40	
Периферией круга	1A1	Органическая	250/200 – 125/100 100/80 – 50/40	130	150	185	230	240	260	0,63	
	A8			110	130	150	190	210	210	0,32	
Периферией круга	1E6Q	Керамическая	250/200 – 125/100 100/80 – 50/40	80	90	110	140	190	150	0,20	
				28/20 и мельче	170	190	220	280	300	310	0,63
				100/80 – 50/40	130	150	180	230	240	250	0,40
			28/20 и мельче	100	110	130	170	180	190	0,32	

Примечания: 1. Для кругов со степенью твердости M2 и M3 коэффициент шлифования умножают на 0,5; со степенью твердости CM1 и CM2 – на 0,7; со степенью твердости CT1 и CT2 – на 1,25; со степенью твердости T1 и T2 – на 0,83.

2. Для кругов с относительной концентрацией эльбора 50 и 150 коэффициент шлифования умножают на 0,9.

3. Для кругов из эльбора ЛП коэффициент шлифования умножают на 1,2; из эльбора ЛОМ – на 1,3; из эльбора ЛОС – на 1,5.

## ПРАВКА АБРАЗИВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Правка необходима для восстановления режущих свойств рабочей поверхности (устранение заступления абразивных зерен и "засаливания" микрорельефа инструмента), а также для восстановления необходимой геометрической формы рабочей поверхности инструмента. Время между двумя правками, измеряемое в минутах шлифования, называется периодом стойкости абразивного инструмента.

Правка шлифовальных кругов производится алмазными и безалмазными правящими инструментами: единичными алмазами, алмазными карандашами, кругами из карбида кремния, алмазными роликами, твердосплавными и стальными роликами и т.д. При этом применяют схемы *обтачивания*, *обкатывания* и *шлифования* (рис. 16).

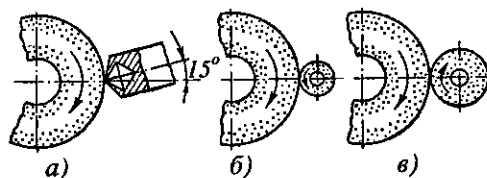


Рис. 16. Схемы правки шлифовальных кругов: а – обтачивание; б – обкатывание; в – шлифование

*Обтачивание* проводят алмазным инструментом: алмазными карандашами (ГОСТ 607-80 (в ред. 1993 г.)), гребейками, брусками и алмазно-кристалльным инструментом (фасонными резцами, алмазами в оправках, алмазными иглами).

Наиболее распространена в производстве правка абразивных кругов алмазными карандашами.

Обкатку выполняют дисками, звездочками и шарошками. При правке кругов на керамической связке применяют монокристаллические или пресованные из крошки твердосплавные диски; кругов на бакелитовой связке – стальные диски (скорость правки 0,1...0,5 м/с). Стальные и твердосплавные диски и шарошки применяют во всех случаях на операциях обдирочного и предварительного шлифования с ручным циклом, когда применение алмазного инструмента не допускается. Скорость правки 3...5 м/с.

Шлифование осуществляют алмазными роликами и кругами из карбида кремния твердостью ВТ и ЧТ, например, 53С80 (ВТ – ЧТ)К. Правящий круг обычно устанавливают вместо детали и сообщают ему скорость приблизительно 14 л/мин при обильном охлаждении (12 л/мин и более). Абразивный круг, подвергаемый правке, имеет рабочую скорость. С помощью алмазных роликов можно выполнить 50...100 тыс. правок. Использование роликов обеспечивает наибольшую стабильность качества деталей в условиях массового производства.

Для восстановления режущей способности шлифовальных кругов отечественного производства рекомендуют снимать с них слой глубиной 0,05...0,08 мм, с кругов зарубежного производства 1...10 мкм.

Шероховатость обработанной шлифованной поверхности зависит от режима правки шлифовального круга. Уменьшением продольной подачи при правке можно снизить шероховатость шлифованной поверхности в 2...4 раза. Однако следует иметь в виду, что поверхность круга, выправленная с малой подачей, быстрее теряет режущие свойства.

### АЛМАЗНАЯ ПРАВКА

Алмазная правка производится при автоматическом шлифовании, а также при шлифовании деталей по 6-му качеству с обеспечением параметра шероховатости обработанной поверхности менее  $Ra = 0,63$  мкм, при профильном и фасонном шлифовании с допусками менее 20 мкм.

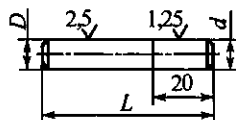
Для алмазной правки применяют алмазные карандаши, алмазные ролики и цельные алмазы, закрепленные в специальных оправах.

Алмазные карандаши по ГОСТ 607–80 (в ред. 1993 г.) являются наиболее распространенным инструментом для правки (табл. 46). В алмазных карандашах расположенные в определенном порядке кристаллы алмазов связа-

46. Алмазные карандаши  
(по ГОСТ 607–80 (в ред. 1993 г.))

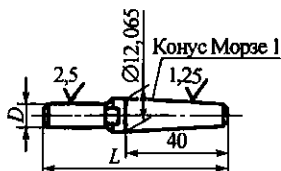
Тип	Размеры, мм			Общая масса алмазов в карандаше, кар	Зернистость алмазного порошка
	D	d	L		

#### Исполнение А



01	10	10	55	0,5	-
				1,0	
				0,31...0,50	
	6	6		0,5	100/80 125/100 200/160
04	8	8	45	1,0	63/50 100/80 125/100 200/160 315/250 400/315
					500/400 630/500 800/630
					2,0

#### Исполнение В

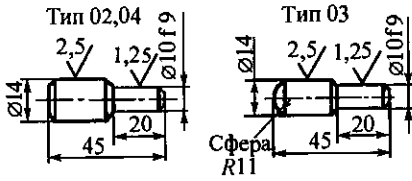


01	10			70	0,5	-
				65	1,0	
					0,31...0,50	
02	12					
04	10		60	1,0	500/400 630/500 800/630	

Окончание табл. 46

Тип	Размеры, мм			Общая масса алмазов в карандаше, кар	Зернистость алмазного порошка
	D	d	L		

## Исполнение С



02	-	-	-	1,0	-
				2,0	
03	-	-	-	1,0	1250/1000
				1,2	1600/1250
				1,5	2000/1600
04	-	-	-	1,0	1000/800
				1,5	
				2,0	1250/1000

ны сплавом, температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) которого близок к ТКЛР алмаза.

Различают три типа расположения алмазов в алмазных карандашах (рис. 17): тип Ц – алмазы расположены цепочкой вдоль оси карандаша; тип С – алмазы расположены не перекрывающимися и перекрывающимися слоями; тип Н – алмазы расположены неориентировано.

Основные характеристики правящих алмазных карандашей приведены в табл. 47.

Алмазные карандаши обычно устанавливают так, чтобы их ось была наклонена под углом 10...15° в сторону вращения круга и развернута по направлению движения подачи.

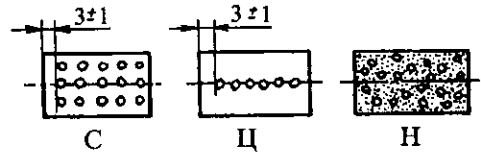


Рис. 17. Расположение алмазов в алмазных карандашах

## 47. Правящие алмазно-металлические карандаши

Тип	Марка	Масса отдельных кристаллов (в кар) или зернистость	Общая номинальная масса алмазов, кар	Количество алмазов в слое
Ц	1	От 0,03 до 0,05	0,5	1
	2	Св. 0,05 до 0,10		
	3	Св. 0,10 до 0,20		
	4	От 0,20 до 0,50	1,0	
	5	От 0,31 до 0,50	Фактическая масса	
	6			
С	1	От 0,017 до 0,025	1	12-14
	2	От 0,05 до 0,10		4; 5
	3	Св. 0,10 до 0,2	2	-
	4	От 0,11 до 0,2	1	2-4
	5			5-7
Н	1	A8	1	Не регламентировано
	2	A12		
	3	A16		
	4	A25		
	5	A40		
	6	A50		
	7	От 0,0025 до 0,0080		

\* Алмазно-металлические карандаши марки Ц2 изготавливают из кристаллов алмаза, имеющих удлиненную форму. Допускаемое отклонение массы от общей массы алмазов составляет  $\pm 0,02$  кар.



## 48. Режимы правки абразивных кругов

Вид шлифования	Поперечная подача, мм/дв.ход	Продольная подача, м/мин
Чистовое (круглое наружное, бесцентровое и плоское)	0,005...0,3	0,1...0,4
Внутреннее	0,005...0,03	0,5...3
Резьбошлифование	0,005...0,02	0,05...0,15
Зубошлифование	0,005...0,03	0,05...0,4
Шлицешлифование	0,005...0,03	0,2...0,5
Профильное шлифование	0,005...0,04	0,1...0,4

Правящий карандаш периодически поворачивают вокруг его продольной оси, вводя в работу новые кристаллы алмаза (или его затупившиеся грани), что обеспечивает оптимальность износа алмазного слоя.

Режимы правки шлифовальных кругов приведены в табл. 48.

Алмазы в оправе применяют в основном для правки шлифовальных кругов фасонного профиля, а также в тех случаях, когда при правке шлифовальных кругов прямолинейного профиля алмазные карандаши не обеспечивают требуемой режущей способности шлифовального круга.

Алмазы в оправе представляют собой цельные алмазы, закрепленные в специальные оправки пайкой и зачеканкой, реже – механически (рис. 18).

Рекомендуется массу алмаза в оправе в зависимости от диаметра подвергаемого правке круга выбирать руководствуясь:

Диаметр круга, мм:	Масса алмаза, кар:
до 175 .....	0,25
от 200 до 250 .....	0,33
от 275 до 350 .....	0,5
от 375 до 500 .....	0,75
свыше 525 .....	1,0

При правке кругов для внутреннего шлифования рекомендуется масса алмаза 0,2 карата. Алмазы массой 1,1...2,1 кар рекомендуются для правки кругов большого диаметра и высоты, например 900 × 100 мм.

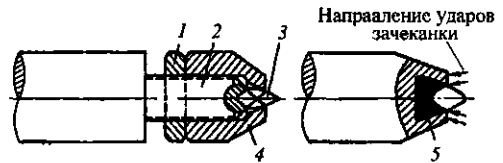


Рис. 18. Методы крепления алмазов:

а – колпачком; б – зачеканкой:  
1 – коитргайка; 2 – головка; 3 – алмаз;  
4 – колпачок; 5 – свинцовая подушка

Алмазы в оправе выпускаются по ГОСТ 22908–78 (в ред. 1995 г.) и в зависимости от формы державки бывают четырех типов (рис. 19): 1 – цилиндрические; 2 – цилиндрические с головкой; 3 – конические; 4 – резьбовые.

Характеристики алмазов в оправе приведены в табл. 49.

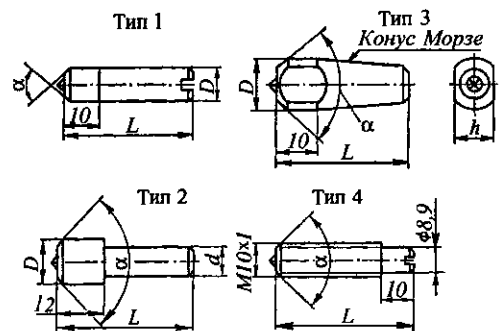


Рис. 19. Алмазы в оправе

## 49. Характеристики алмазов в оправе

Форма державки	Диаметр D, мм	Длина L, мм	Масса алмаза, кар
Тип 1	6; 7; 8; 10; 12	25; 40; 50; 75	0,2...2,1
Тип 2	10; 12	32; 50	0,86...2,1
Тип 3	10,3; 12,2	28; 32	0,31...1,6
Тип 4	10 (резьба)	36; 50	0,11...1,6

Примечание. Угол державки  $\alpha$ :  $90^\circ$  – для правки кругов фасонного профиля;  $120^\circ$  – для правки кругов прямого профиля.

Шлифовальные круги при помощи алмазов в оправе правят при следующих режимах: продольная подача 0,05...0,2 м/мин или 0,05...0,25 мм/об. круга; поперечная подача 0,005...0,03 мм/дв. ход; охлаждение – 25...30 л/мин. Алмазные карандаши устанавливаются под углом 10...15° к режущему кругу и иногда на 1...1,5 мм ниже оси круга (рис. 20).

Фирма NORTON (США) предусматривает пять уровней качества для алмазов в оправе в соответствии с качеством кристалла алмаза и возможностями его перезаточки (табл. 50).

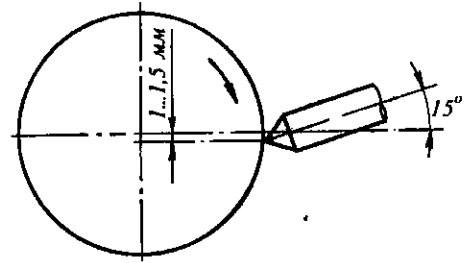


Рис. 20. Схема установки алмазов и алмазных карандашей

### 50. Уровни качества кристалла алмазов

Уровень качества	Возможности перезаточки	Структура и форма	Целостность
АА	По четырем плоскостям	Хорошо выраженный октаэдр или додекаэдр	Свободен от трещин, спаек и поверхностных дефектов
А	По трем плоскостям	Локально-блочная структура с небольшими отклонениями формы на поверхности	Свободен от трещин, может иметь спайки или несовершенства
В	По двум плоскостям	Блочная структура с небольшими отклонениями формы на поверхности	Может иметь трещины, спайки или дефекты вне режущей части
С	По одной плоскости	Грубая сферическая или игольчатая форма, поверхность с отклонениями формы	Может иметь трещины, спайки или дефекты вокруг режущей части
Д	Не может быть перезаточен	Форма куба с затупленными гранями, поверхности с нерегулярной геометрией и включениями	Дефекты снижают срок службы инструмента относительно среднего статистического

Для правки резбошлифовальных кругов применяют алмазные иглы (рис. 21), кристалл алмаза в которых имеет острую вершину, ограниченную в форме четырехгранной пирамиды с углом между противоположными гранями при вершине 90° или 60°. Характеристики алмазных игл по ГОСТ 17564-85 (в ред. 1991 г.) приведены в табл. 51.

Для прямой правки при больших высотах шлифовального круга и высоких требованиях к обработанной поверхности (например, при бесцентровом шлифовании) рекоменду-

ется применять сгруппированные алмазы в оправе (рис. 22).

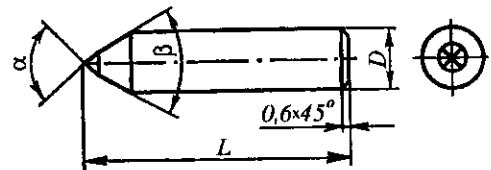


Рис. 21. Алмазная игла

## 51. Основные размеры алмазных игл, мм

Обозначение иглы	$D$ d11	$L$ $\pm 0,5$	$\alpha$	$\beta$	Исходная масса, кар
			$\pm 10^\circ$		
3908-0031	6	35	60°	50°	0,21...0,30
3908-0033			90°	80°	
3908-0035	8		60°	50°	0,21...0,40
3908-0036			90°	80°	0,21...0,30
3908-0037					0,21...0,40
3908-0038			0,21...0,30		
3908-0039	9,5	50	60°	50°	0,31...0,40
3908-0040			90°	80°	0,21...0,30
3908-0042					0,21...0,40
3908-0044			0,21...0,30		
3908-0045	10		60°	50°	0,31...0,40
3908-0047			90°	80°	0,21...0,30
3908-0048		0,21...0,40			
3908-0050		0,21...0,30			

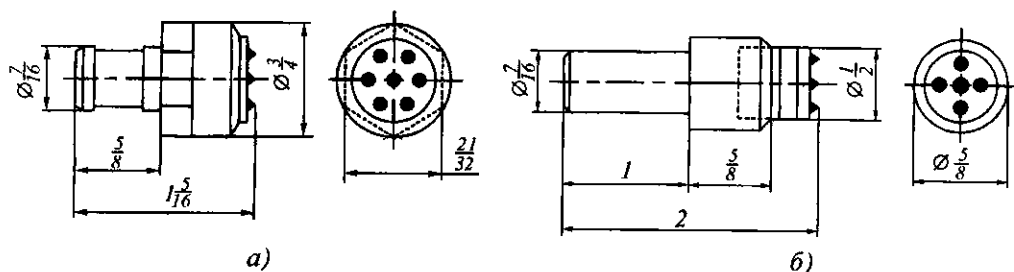


Рис. 22. Сгруппированные алмазы в оправе (все размеры даны в дюймах: 1 дюйм = 25,4 мм)

Для наибольшей эффективности эти инструменты должны устанавливаться под углом  $15^\circ$ , что обеспечивает нахождение в контакте со шлифовальным кругом в любой момент времени трех алмазов. Инструмент необходимо проворачивать вокруг своей оси через короткие промежутки времени. Сгруппированные алмазы производства фирмы NORTON (США) изготавливаются с однослойным (рис. 22, а) и трехслойным (рис. 22, б) расположением алма-

зов. В этом случае количество алмазов в слоях составляет 5-4-5 или 7-6-7.

Для ступенчатой, угловой и радиусной правки указанных выше кругов рекомендуется применять многолезвийные алмазы в оправе (рис. 23), причем алмазы могут быть расположены: 2 или 3 алмаза в 1 слой (рис. 23, а), а также 5 алмазов в 1, 2 или 3 слоя (рис. 23, б). Размеры алмазов можно выбирать из ряда: 0,75; 1,0; 1,25; 1,3; 1,5; 1,9; 2,3 мм.

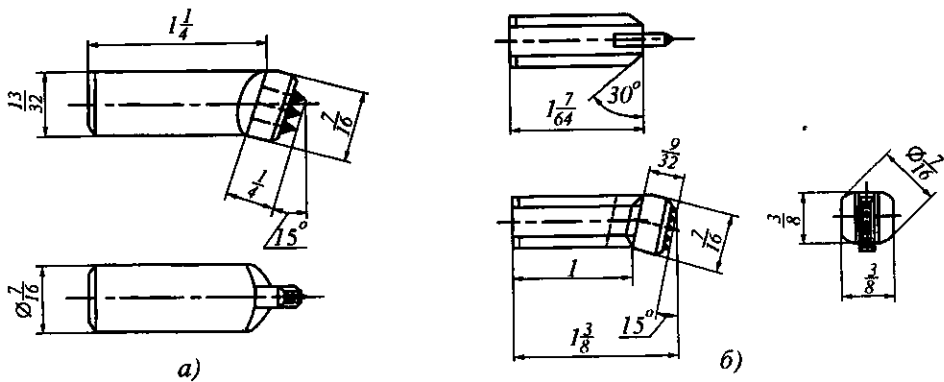


Рис. 23. Многолезвийные алмазы в оправе (все размеры даны в дюймах: 1 дюйм = 25,4 мм)

Алмазные ролики состоят из металлического корпуса (обычно из стали 40Х или 45), на который гальваническим методом нанесен алмазоносный слой толщиной 1,5...2,5 мм.

Алмазные ролики прямого профиля для правки шлифовальных кругов (рис. 24) выпускаются по ГОСТ 16014-78 (в ред. 1989 г.). Характеристики этих алмазных роликов приведены в табл. 52, а рекомендуемые режимы правки — в табл. 53.

Фасонные алмазные ролики предназначены для правки шлифовальных кругов, имеющих сложный профиль, а также для правки методом врезания по нескольким рабочим поверхностям: прямолинейным, криволинейным и их сочетаниям.

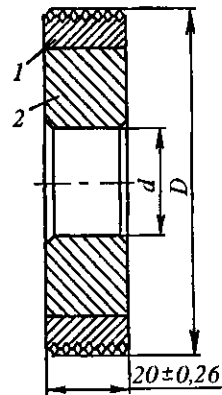


Рис. 24. Алмазный правящий ролик:  
1 — алмазоносный слой; 2 — корпус

## 52. Характеристики алмазных правящих роликов

Обозначение роликов	D h8	d H6	Масса одного кристалла алмаза, кар	Количество алмазов в ролике, шт.
3908-0001	69,85	19,05	0,008...0,010 0,006...0,008	1200 1540
3908-0004	69,90	20,00		
3908-0005	69,95			
3908-0002	70,00			
3908-0006	70,05			

## 53. Рекомендуемые режимы правки шлифовальных кругов алмазными роликами

Схема правки роликом	Параметр шероховатости поверхности $R_a$ , мкм	Окружная скорость, м/с		Продольная подача, м/мин		Поперечная подача, мм/дв.ход		Скорость врезной подачи, м/мин	Направление вращения ролика и круга
		шлифовального круга	алмазного ролика	при прямом ходе	при обратном ходе	при прямом ходе	при обратном ходе		
Прямого профиля на проход	0,4	35 60	15...20	1,0...1,2 1,5...2,0	1,0...1,2 1,5...2,0	0,02...0,03	—	—	Встречное
Прямого профиля по копиру	0,8 0,4	35...45	10 10 <sup>*1</sup>	0,5	0,3	0,015...0,03	0,005	—	—
Фасонным по копиру	0,8 0,4	35...45	10...15 10...15 <sup>*1</sup>	0,3...0,4	0,2...0,3	0,01...0,02	0,005...0,01	—	—
Фасонным методом врезания	0,8 0,4	35...80	30...35 12...15	—	—	0,01...0,03 0,005...0,02 <sup>*2</sup>	—	0,8...1,0 0,5...0,7	Попутное Встречное

\*<sup>1</sup> При обратном ходе скорость ролика равна 0.

\*<sup>2</sup> Время выхаживания 3...5 с.

Алмазные ролики устанавливают в нерабочей зоне шлифовального станка. Это позволяет править круг во время установки и снятия детали, снижая общие затраты времени на правку. Схема правки фасонным алмазным роликом приведена на рис. 25.

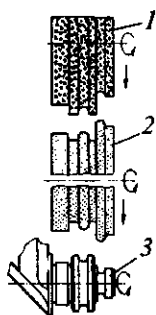


Рис. 25. Схема правки фасонным алмазным роликом:

1 — алмазный ролик; 2 — шлифовальный круг;  
3 — деталь

## БЕЗАЛМАЗНАЯ ПРАВКА

Основной разновидностью безалмазной правки является правка алмазных и эльборовых кругов (кругов из СТМ).

Для восстановления исходной формы кругов из СТМ применяются правильные приспособления, регулируемые тормозным устройством. В данных приспособлениях используется абразивный круг из карбида кремния прямой формы размерами 80 × 25 × 13 мм.

Восстановление режущей способности кругов из СТМ после правки с применением указанного приспособления осуществляют вручную с помощью специального абразивного бруска.

Правка алмазных и эльборовых кругов проводится, как правило, только для оформления или восстановления их геометрической формы, поднутрения торцовых кромок профильных кругов и кругов прямого профиля, а также при засаливании рабочей поверхности частями металла. Последнее нехарактерно

для алмазных кругов и органических и металлических связках при шлифовании с использованием СОЖ и при соблюдении рекомендуемых режимов резания.

Правку алмазных и эльборовых кругов выполняют методами обтачивания и шлифования с помощью абразивных кругов или брусков. Круги на токопроводящей связке правят электроэрозионным методом.

Характеристики абразивного инструмента из карбида кремния 63С для правки алмазных кругов приведены в табл. 54.

Режимы правки брусками из зеленого карбида кремния: скорость алмазного круга – рабочая, подачи: продольная – 1...2 м/мин, поперечная – 0,01...0,02 мм/дв. ход стола; шлифование с СОЖ абразивными кругами: скорость абразивного круга 25...30 м/с, подачи: продольная – 1,5...2 м/мин, поперечная – 0,03...0,04 мм/дв. ход; методом обкатки абразивными кругами (контактирующими с алмазным кругом); подачи: продольная – 0,8...1,2 м/мин, поперечная – до 0,02 мм на 6–8 двойных ходов, с обильным подводом СОЖ.

*Электроэрозионная правка* алмазных и эльборовых кругов на металлической связке и порядок и более производительнее абразивной правки. Алмазные круги после электроэрозионной правки имеют стойкость примерно на порядок выше, чем при правке абразивными кругами, из-за отсутствия механического воздействия иа зерна алмазов и создания более шероховатой рабочей поверхности.

Электроэрозионная правка проводится цилиндрическим или фасонным латунным электродом (роликом). Профилирование и правку кругов производят на станке типа ВК-73, позволяющем профилировать алмазные круги  $D = 100...300$  мм или непосредственно на шлифовальных станках, оснащенных источником постоянного тока (или выпрямителем) и напряжением 4...24 В. Круг (анод) и латунный электрод (катод) изолируют от металлических деталей станка. Алмазному кругу сообщают скорость вращения 1,3...1,8 м/с через специальный редуктор (на плоскошлифовальных станках) или от привода бабки изделия через ремennую передачу (на круглошлифовальных

**54. Характеристики абразивного инструмента для правки алмазных кругов**

Алмазный круг			Абразивный инструмент	
Марка алмаза	Зернистость алмазного порошка	Связка	Зернистость абразивного материала	Твердость
АС4; АС6	315/250	Металлическая	40	С1; С2
	250/200		32	
	200/160			
	160/125			
	125/100			
	100/80		20	
	80/63		16	
АС2	63/50	Органическая	12	СМ1; СМ2
	160/125		16	
	125/100		12	
	100/80		10	
	80/63		8	
	63/50		6	
50/40	5	М3 – СМ1		

**Примечание.** Абразивный материал, использованный в абразивном инструменте, зеленый карбид кремния 63С; связка – керамическая.

станках); глубина резания при предварительной обработке 0,05...0,1 мм/дв. ход, при чистой обработке 0,01...0,02 мм/дв. ход. Регулирование межэлектродного зазора – бесступенчатое; напряжение 4...12 В; сила тока 5...12 А. В зазор между электродом и кругом подают рабочую жидкость – машинное или трансформаторное масло 4...5 л/мин. При неправильно выбранном режиме правки возможна графитизация алмаза.

## ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОЙ РАБОТЫ АБРАЗИВНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

**Балансировка кругов.** Правила безопасной работы абразивным инструментом (ГОСТ 12.3.028–82 (в ред. 1992 г.)) обязывают потребителя перед установкой шлифовальных кругов диаметром 250 мм и более или диаметром 125 мм и более, предназначенных для работы со скоростью, большей 50 м/с, обязательно выверять и балансировать их вместе с крепежными фланцами (планшайбой). Балансируют круги на специальных стейдах (статическая балансировка). Круг, смонтированный на оправке, устанавливают на опоры – цилиндрические валики или диски. Более точную балансировку проводят на аэростатических опорах. В этом случае оправка с кругом легко проворачивается под воздействием крутящего момента  $1 \cdot 10^{-5}$  Н·м, что в 7 и 40 раз меньше момента, выводящего из состояния покоя круг с оправкой соответственно на цилиндрических валиках и дисках. Перемещающие компенсирующие грузы в кольцевых пазах планшайбы, добиваются, чтобы круг в любом положении на опорах оставался неподвижным. Рекомендуется выполнять централизованную балансировку кругов на станках мод. ДБ-3, ДБ-4 и ДБ-5 или на стейках для автоматической балансировки мод. ЭЗ-27 и ЭЗ-28. В современных шлифовальных стейках применяют устройства для уравнивания круга непосредственно на станке (динамическая балансировка): ручным управлением – по показаниям вибрметра типа ИЭ-1, измеряющего размах колебаний шлифовальной бабки в диапазоне частот вращения шпинделя круга 600...4000 об/мин (на станках ХСЗ); в автоматическом цикле – при включе-

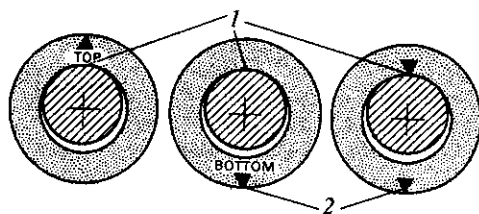


Рис. 26. Установка кругов с метками балансировки:

1 – линия контакта между валом и отверстием;  
2 – метки; (TOP – верх; BOTTOM – низ)

нии балансировки по сигналу датчика, контролирующего уровень вибраций шлифовальной бабки или один из параметров шлифования – шероховатость, огранку и другие параметры до достижения заданного уровня.

Некоторые круги имеют метки позиционирования (рис. 26). Необходимо следить за тем, чтобы расположение меток при установке круга совпало с расположением предусмотренным изготовителем круга.

**Испытание на прочность.** Допустимая скорость  $v_k$  кругов ограничивается прочностью абразивного инструмента. Рекомендуемые FEPA безопасные скорости резания приведены в табл. 55.

Для обеспечения безопасной работы шлифовальные круги перед транспортированием в цех-потребитель испытывают на прочность в соответствии с ГОСТ 12.3.028–82 (в ред. 1992 г.). Круги диаметром 150 мм и более, а также круги диаметром 30 мм и более, предназначенные для работы с  $v_k > 40$  м/с, испытывают на прочность при скорости, превышающей рабочую на 50 %. Абразивные круги типа D с наружным диаметром 200 мм и более, работающие с  $v_k \leq 20$  м/с, испытывают при скорости, превышающей рабочую на 30 %. Продолжительность испытаний составляет 1,5 мин для кругов диаметром до 1000 мм и 3 мин – для кругов диаметром более 1000 мм.

Допускается проведение испытаний при испытательной скорости, превышающей рабочую скорость в 1,65 раза, без выдержки времени испытания кругов, работающих с  $v_k < 50$  м/с, и на бакелитовой связке, работающих с  $v_k < 60$  м/с.

55. Общее руководство по выбору скорости круга  $v_k$ , м/с

Тип станка	Тип подачи	Обработка		Материал связки*			
				V	B	BF	R
Стационарные станки (кроме отрезных станков)	Автоматическая	Шлифование периферией круга	бесцентровое	35	50	—	35
			другие	35	35	—	35
		Шлифование торцом круга	35	35	—	—	
	Ручная	Шлифование периферией круга	заточка инструментов	35	35	—	—
			отделка	35	50	—	—
		Шлифование торцом круга	заточка инструментов	32	32	—	—
			отделка	32	32	—	—
	Автоматическая	Глубинное шлифование	периферией круга	—	80	—	—
Ручные установки	Ручная	Шлифование	периферией круга	—	50	80	—
			торцом круга	—	50	80	—
Отрезные станки	Механическая	Отрезание	на стационарных станках	—	80	80	80
	Ручная		на станках с качающейся рамой или направляющими скольжения	—	—	80	—
			на ручных установках	—	—	80	—

\* V — керамическая связка; B — бакелитовая связка; BF — бакелитовая армированная связка; R — вулкани-  
товая связка.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абразивная и алмазная обработка материалов: Справочник / Под ред. А. Н. Резникова. М.: Машиностроение, 1977. С. 3 — 103.

2. Механическая обработка деталей из керамики и ситаллов / В.А. Хрульков, В.А. Гародей, А.Я. Головань, Ю.М. Буки. Саратов: Изд-во Саратовского университета, 1975. 350 с.

3. Романов В.Ф., Авакян В.В. Технология алмазной правки шлифовальных кругов. М.: Машиностроение, 1980. 118 с.

4. Справочник металлиста. Т. 4 / Под ред. М.П. Новикова и П.Н. Орлова. М.: Машиностроение, 1977. 720 с.

5. Справочник технолога-приборостроителя. Т. 1 / Под ред. П.В. Сыроватченко. М.: Машиностроение, 1980. 608 с.

6. Справочник шлифовщика / Л.М. Кожуро, А.А. Панов, Э.И. Ремизовский, П.С. Чистосердов. Мииск: Вышэйшая школа, 1981. 287 с.

7. Хрульков В.А., Головань А.Я., Федотов А.И. Алмазные инструменты в прецизионном приборостроении. М.: Машиностроение, 1977. 223 с.

8. Эфрос М.Г., Мирожок В.С. Современные абразивные инструменты. Л.: Машиностроение, 1987. 158 с.



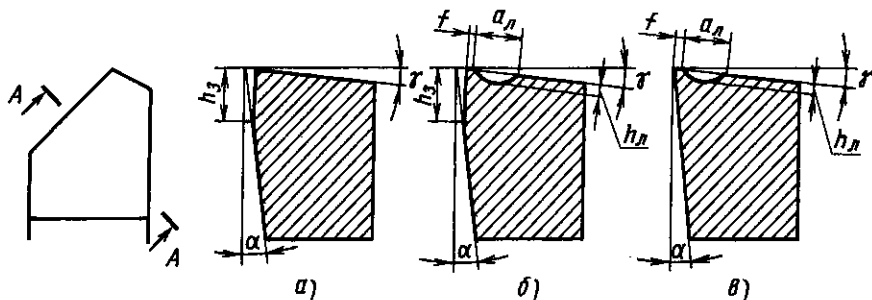
ВОССТАНОВЛЕНИЕ РЕЖУЩИХ СВОЙСТВ ИНСТРУМЕНТОВ

ИЗНОС ИНСТРУМЕНТА

Все режущие инструменты, предназначенные для удаления припуска с заготовки и превращения его в стружку, делятся на лезвийные и абразивные; и те, и другие, проработав определенное время, теряют свои режущие свойства, которые должны быть восстановлены. Процесс восстановления режущих свойств принципиально разный для лезвийных и абразивных инструментов. Для первых это переточка с образованием новых поверхностей и режущих кромок, которая должна происходить

на специально оборудованных участках в механических цехах либо в инструментальном цехе; для вторых это процесс правки с образованием новой режущей поверхности непосредственно в рабочей позиции на станке.

Критерием выхода инструмента из строя чаще всего является износ. Для лезвийных инструментов следы износа наблюдаются на передних и задних поверхностях в непосредственной близости от режущей кромки. Виды такого износа показаны на рис. 1. В соответствие с видом износа назначается схема переточки и величина стачивания за одну переточку (табл. 1).



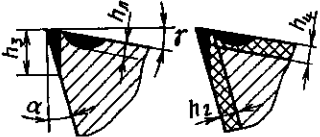
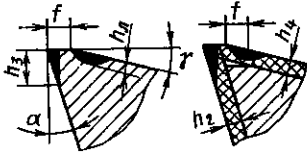
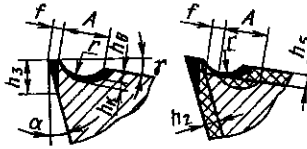
1. Износ лезвий:

*a* – только задней поверхности; *б* – одновременно задней и передней поверхностей; *в* – только передней поверхности; *h<sub>3</sub>* – износ по задней поверхности; *f* – фаска; *a<sub>n</sub>* – ширина лунки; *h<sub>n</sub>* – глубина лунки

1. Характерные виды износа и схемы переточки резцов

Характер износа резца в нормальном сечении и схема переточки резца (заштрихован сошлифовываемый припуск)	Размер припуска при переточке резца, мм
<p><i>Износ по задней поверхности</i></p>	$h_1 = h_3 \operatorname{tg} \alpha$ $h_2 = h_1 + (0,1 \dots 0,2)$
<p><i>Износ по передней поверхности</i></p>	$h_4 = h_n + (0,1 \dots 0,2)$

Окончание табл. 1

Характер износа реза в нормальном сечении и схема переточки реза (заштрихован сошлифовываемый припуск)	Размер припуска при переточке реза, мм
<p data-bbox="87 269 518 297"><i>Износ по передней и задней поверхностям</i></p> 	$h_2 = h_3 \operatorname{tg} \alpha + (0,1 \dots 0,2)$ $h_4 = h_n + (0,1 \dots 0,2)$
<p data-bbox="87 462 477 490"><i>Износ по фаске и задней поверхности</i></p> 	$h_2 = h_3 \operatorname{tg} \alpha + (0,1 \dots 0,2)$ $h_4 = h_n + (0,1 \dots 0,2)$
<p data-bbox="87 667 627 719"><i>Износ по криволинейной передней и задней поверхностям</i></p> 	$h_2 = h_3 \operatorname{tg} \alpha + (0,1 \dots 0,2)$ $h_5 = h_n + h_k + (0,1 \dots 0,2)$

Для абразивного инструмента износ режущей поверхности выражается в образовании площадок износа на каждом абразивном зернышке и засаливании режущей поверхности (заполнение пространства между абразивными зёрнами шламом).

Кроме износа критерием выхода инструмента из строя могут быть: выкрашивание или поломка режущих лезвий, потеря размера на обработанных деталях, ухудшение качества обработанных поверхностей и др.

Для восстановления режущих свойств лезвийного инструмента необходимо образовать новые режущие кромки. Неразборный инструмент (цельный, паяный, клееный) надо отправить на участок переточки для образования новых передней и задней поверхностей и, таким образом, образования новых режущих кромок. Для сборного инструмента со сменными многогранными пластинками (СМП) достаточно заменить или повернуть СМП. Абразивный инструмент подвергается правке на рабочей позиции специальным правящим инструментом, который удаляет слой затупившихся абразивных зёрен и образует новую режущую поверхность, попутно исправляя и восстанавливая ее правильную геометрическую форму.

## ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПАРАМЕТРАМ ВОССТАНОВЛЕННЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

На большинство режущих инструментов существуют ГОСТы на конструкцию, основные размеры, технические требования, в том числе регламентирующие геометрические параметры режущей части. Укрупнено допустимые отклонения геометрических параметров режущей части лезвийных инструментов приведены в табл. 2.

Параметры шероховатости передних и задних поверхностей лезвийного инструмента приведены в табл. 3.

Для абразивных инструментов одним из основных требований является тщательная балансировка шлифовального круга, которая осуществляется вместе с оправкой, на которой крепится круг. Смена абразивного инструмента производится вместе с оправкой. Балансировка осуществляется на специальных балансировочных приспособлениях, установках, машинах, станках, отличающихся по конструкции и принципу работы.

## 2. Допускаемые отклонения геометрических параметров режущей части инструментов, °

Геометрический параметр	Значения углового параметра	Допускаемое отклонение углового параметра
Передний угол $\gamma$	$< 12$	$\pm 1$
	$> 12$	$\pm 2$
Главный задний угол $\alpha$	6...15	$\pm 1$
Вспомогательный задний угол $\alpha_1$	$< 2$	$\pm 0,5$
	$> 2$	$\pm 1$
Главный угол в плане $\phi$	30...100	$\pm 2$
Вспомогательный угол в плане $\phi_1$	$< 2$	$\pm 0,5$
	2...5	$\pm 1$
	$> 5$	$\pm 2$
Угол наклона главной режущей кромки $\lambda$	-5...5	$\pm 1$

## 3. Параметр шероховатости передних и задних поверхностей инструментов

Инструмент	Контролируемая поверхность	$Ra$ , мкм
Резцы из быстрорежущей стали и с твердосплавными пластинами	Передняя и задняя	0,4...0,8
Сверла спиральные быстрорежущие, зенкеры	Передняя	До 0,8
	Задняя	0,8...1,6
Сверла спиральные для обработки труднообрабатываемых материалов, спиральные с ТС пластинами, цельные ТС	Передняя и задняя	0,4...0,8
Зенкеры, оснащенные ТС пластинами, цельные ТС		0,4
Зенковки конические		0,8...1,6
Развертки быстрорежущие цилиндрические, конические, цельные твердосплавные, оснащенные пластинами из ТС		0,4...0,8
Фрезы дисковые двусторонние и трехсторонние со вставными ножами, оснащенные ТС пластинами, торцовые насадные со вставными ножами, оснащенными пластинами из ТС, шпоночные, оснащенные ТС пластинами, шпоночные цельные ТС, концевые ТС		0,4
Фрезы шпоночные, цельные торцовые, насадные, дисковые трехсторонние и дисковые пазовые, для обработки Т-образных пазов, с напаянными ТС пластинами для обработки Т-образных пазов		0,8

Окончание табл. 3

Инструмент	Контролируемая поверхность	Ra, мкм
Фрезы цилиндрические, фасонные полукруглые выпуклые, вогнутые и радиусные	Передняя	0,8
	Задняя	1,6
Фрезы прорезные и отрезные	Передняя	2
	Задняя	1,6
Гребенки резьбоарезные плоские	Передняя и задняя	0,8
Метчики, метчики с конической резьбой, метчики машинные для трубной цилиндрической резьбы оснащенные ТС пластинами	Передняя и задняя	0,8
Плашки круглые, плашки круглые для конической резьбы		1,6
Фрезы червячные чистовые для шлицевых валов с эвольвентным профилем, фрезы червячные чистовые односторонние для цилиндрических зубчатых колес с эвольвентным профилем, фрезы червячные для шлицевых валов с прямобочным профилем		0,4...1,6
Долбяки зуборезные чистовые		0,4...0,8
Протяжки шпоночные, протяжки для цилиндрических, шлицевых и гранных отверстий		

### ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИСПОСОБЛЕНИЯ И ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ЗАТОЧКИ

Участки централизованной заточки инструмента должны быть оснащены заточным оборудованием, удовлетворяющим нижеприведенным требованиям.

В станках, работающих торцом и периферией круга, осевое биение шпинделя шлифовальной головки не должно превышать 4 мкм, а радиальное биение у торца шпинделя — 5 мкм. Осевое и радиальное биение посадочного места шпинделя не должно превышать 10 мкм.

Амплитуда относительных колебаний шлифовальной головки и затачиваемого инструмента не должна превышать 5...8 мкм (что соответствует амплитуде вибраций 0,5...1 мкм при холостом ходе), амплитуда абсолютных колебаний шлифовальной головки в направлении

поперечной подачи — 15 мкм, а жесткость технологической системы не менее 4,5...5 кН/мм. На станках для электроалмазной заточки (при упругой схеме шлифования) биение рабочей поверхности круга должно находиться в пределах 15...25 мкм.

Все быстровращающиеся части станков (ротор электродвигателя, узел шлифовального шпинделя и др.) должны быть динамически уравновешены. Допустимое смещение центра тяжести для шпинделя в сборе, ротора электродвигателя и промежуточного вала со шкивами не должно превышать 1...2 мкм, для круга с оправкой — 3...5 мкм. Механизмы продольных и поперечных подач стола станков должны обладать достаточной чувствительностью; трение в элементах механизмов подач должно быть минимальным, а все перемещения должны осуществляться без толчков и заеданий. Для повышения долговечности и

точности станков все основные механизмы, подшипниковые узлы и направляющие, а также шлифовальные головки должны быть снабжены средствами защиты (фартуками) от попадания абразивной, металлической пыли и брызг СОТС.

Станки должны быть оснащены механизмом тонкой поперечной подачи с ценой деления лимба до 0,005...0,01 мм/ход. Станки должны иметь систему подачи СОТС поливом с расходом 3...5 л/мин, особенно необходимую при работе алмазными и эльборовыми кругами на металлической связке. Для получения качественной поверхности при заточке и доводке режущих инструментов станки следует оснащать фильтрами для тонкой очистки СОТС от шлама.

От исправности станка и его рабочего состояния зависит не только качество заточенного и доведенного инструмента, но и производительность труда. Поэтому во время работы на станке рабочий должен регулярно проверять натяжение приводного ремня, величину зазора в подшипниках, наличие смазки в шпиндельной головке, не допускать чрезмерно больших подач на шлифовальный круг (которые могут привести к вибрации во время работы и перегреву подшипников шпинделя), нагрева подшипников свыше 50 °С и отклонений от техно-

логического процесса обработки режущих инструментов.

Операции заточки и доводки режущего инструмента с применением абразивных, алмазных и эльборовых кругов должны выполняться на оборудовании, имеющем местный отсос, обеспечивающий удаление абразивной пыли и аэрозолей СОТС из рабочей зоны.

Перечень оборудования для заточных отделений приведен в табл. 4 и 5.

Для заточки и доводки режущего инструмента используют приспособления, входящие в комплект универсально-заточных станков или поставляемые по специальному заказу. Приспособления, применяемые для установки и закрепления затачиваемого инструмента, должны быть жесткими, точными и обеспечивающими высокое качество заточки при высокой степени механизации и автоматизации процесса заточки. Перечень оснастки, расширяющей технологические возможности универсальных заточных станков, приведен в табл. 6.

В качестве инструмента на заточных и доводочных операциях чаще всего применяют шлифовальные круги, форма и размеры которых регламентированы ГОСТ 2424-83 (в ред. 1996 г.) который предусматривает 14 профилей и несколько сотен типоразмеров (см. гл. 13).

#### 4. Универсально-заточные станки

Модель	Наибольшие размеры изделия, устанавливаемого в центрах, мм,	Наибольшее продольное перемещение стола, мм	Угол поворота шлифовальной головки, °,	Скорость продольного перемещения, м/мин	Габаритные размеры станка (L × B × H), мм	Масса станка, кг
	диаметр длина		в горизонтальной плоскости в вертикальной плоскости			
ВЗ-318	$\frac{330}{1040}$	350	$\frac{360}{200}$	—	1085 × 1150 × × 1630	920
ВЗ-318Е	$\frac{330}{1040}$	350	$\frac{360}{200}$	0,2...8	1460 × 1530 × × 1660	950
ЗМ642	$\frac{250}{500}$	400	$\frac{±45}{-}$	—	1650 × 1470 × × 1625	1400
ЗД642Е	$\frac{250}{500}$	400	$\frac{±45}{-}$	0,2...8	1800 × 1470 × × 1625	1650

5. Заточные станки

Наименование станка	Модель	Диаметр шлифовального круга, мм	Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	Мощность электродвигателя, кВт	Габаритные размеры станка (L × B × H), мм	Масса станка, кг	Назначение станка
<i>Специальные заточные станки</i>							
Станок универсально-заточной	B3-186	100	2740; 4500		640 × 400 × 750	85	Шлифование, заточка и доводка однолезвийных фрез, заточка мелкоразмерных сверл, фрез, резцов
Станок заточной со встроенной синусной линейкой	B3-221	125	4500; 7100; 5600; 10 500	0,55	1450 × 900 × 1550	560	Заточка и доводка по передним и задним поверхностям цилиндрических и конических инструментов с винтовыми и прямыми зубьями постоянного шага расположенными на периферии и торце
Станок для заточки фасонных острозаточенных фрез по задний поверхности ( $D_{max} = 250$ мм)	B3-222	125; 150	2750; 3170; 5350	0,18	740 × 1100 × 1400	710	Заточка фасонных острозаточенных фрез, фасонных плоских ножей по задней поверхности
Специальный заточной для дисковых пил ( $D = 275...1010$ мм)*	B3-330	200	2800	—	920 × 690 × 1800	1050	Заточка круглых пил для металла по ГОСТ 4047-82 (в ред. 1992 г.) по профилю зуба и переходным режущим кромкам
Заточной для дисковых сегментных пил ( $D = 250...1430$ мм)*	3E692	300	2000	2,2	2450 × 1120 × 1910	1800	Заточка круглых сегментных пил для металла по профилю зуба и переходным режущим кромкам
Заточной для дисковых сегментных пил ( $D = 710...2000$ мм)*	B3-187M				2680 × 1100 × 1910	2100	
Станок специальный заточной для твердосплавных пил ( $D = 360; 420$ мм)	B3-353	150	2880	0,75	640 × 640 × 420	127	Заточка пил по передней поверхности
Заточной с цифровой индикацией для протяжек ( $D_{max} = 250$ мм)*	3M601Ф1	200	2000...12 000	—	5220 × 2000 × 1820	5150	Заточка и переточка круглых, шлицевых, плоских, шпоночных протяжек

Продолжение табл. 5

Наименование станка	Модель	Диаметр шлифовального круга, мм	Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	Мощность электродвигателя, кВт	Габаритные размеры станка (L x B x H), мм	Масса станка, кг	Назначение станка
Заточной для сверл, зенкеров и метчиков (D = 5...32 мм)*	ЗЕ653	-	1020...2780	2	1012 x x 1310 x x 1595	900	Винтовая заточка сверл, трех- и четырехзубых зенкеров и метчиков с правым и левым направлениями винтовых канавок, ступенчатых сверл; подточка поперечной кромки
	ЗЕ659					950	
Станок заточной для сверл (D = 1...8 мм настольный)	ВЗ-322	150	2710	0,12	520 x x 400 x x 485	55	Плоскостная заточка и переточка праворежущих сверл
	ВЗ-323					65	
Станок заточной для сверл (D = 0,4...2,5 мм настольный)	ВЗ-389	100	5000	0,025	535 x x 270x x 447	35	Плоскостная заточка и переточка спиральных сверл из твердого сплава
Станок для заточки плашек (МБ...М52)	ВЗ-342	D <sub>min</sub> = 5	25 000	-	470 x x 780 x x 690	120	Заточка плашек по передней поверхности и заборному конусу
Заточные станки с ЧПУ							
Шлифовально-заточной с ЧПУ фирмы SIEMENS (4-х координатный)*	ВЗ-409Ф4	200	2000...6000	4	3000 x x 2850 x x 2080	3500	Вышлифовка стружечных канавок и заточка любых режущих инструментов

Окончание табл. 5

Наименование станка	Модель	Диаметр шлифовального круга, мм	Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	Мощность электродвигателя, кВт	Габаритные размеры станка (L × B × H), мм	Масса станка, кг	Назначение станка
Шлифовально-заточной с ЧПУ фирмы SIEMENS (5-ти координатный) *	B3-392Ф4		2000...6000	2,2	1500 × 2620 × 2000	2000	Заточка и шлифовка стружечных канавок различных режущих инструментов
	B3-417Ф4	150		7,5	1920 × 2860 × 2000		
Заточной для торцовых фрез (D = 80...630 мм)*	3M667Ф2		1800; 3600	2,5	1840 × 2360 × 1795	2600	Заточка торцовых фрез
Заточной с ЧПУ высокой точности для червячных фрез (D = 20...250 мм) с контролем фирмы SIEMENS *	B3-410Ф2	63; 200; 250	1780; 2100; 2850; 3300; 4070; 4790; 6510; 7560	6,8	1950 × 1370 × 1500	4000	Заточка однозаходных и многозаходных червячных фрез, в том числе с закрытыми стружечными канавками
	B3-324Ф2	300; 350; 400	1450; 1600; 1850	9,6	3940 × 2320 × 1810	5900	Заточка крупномодульных однозаходных и многозаходных червячных фрез
Для заточки зуборезных головок высокой точности с ЧПУ (D = 80...630 мм)*	B3-411Ф2	350	1500	2,2	2210 × 1700 × 1980	4000	Заточание зуборезных головок и протяжек, нарезающих конические колеса с круговыми и прямыми зубьями
	B3-414Ф2	200...250	2850	4	—	—	Заточка глубинным способом зуборезных головок для нарезания конических зубчатых колес с круговыми зубьями

\* Полуавтоматические станки.



## 6. Оснастка для универсальных заточных станков моделей ВЗ-318 и ВЗ-318Е

Наименование	Модель
Бабка для заточки торцовых фрез ( $D \leq 250$ мм, с конусностью 7:24)	3Е642Е.П39
Бабка задняя	ВЗ-318.П3
Бабка задняя с большим вылетом	3Е642Е.П61
Бабка задняя с регулируемой высотой центров	3Е642Е.П31
Бабка передняя	ВЗ-318.П2
Бабка передняя с большим вылетом	3Е642Е.П73
Бабка универсальная	ВЗ-318.П1
Бабка универсальная трехповоротная	3Е642Е.П8
Зажим цанговый ( $D_{\text{цанг}} = 8; 10; 15; 20$ мм)	3Е642Е.П40
Патрон магнитный	3Е642Е.П89
Патрон трехкулачковый ( $D = 125$ мм)	3Е642Е.П84
Приспособление для внутреннего шлифования	3Е642Е.П18, ВЗ-318.П18
Приспособление для заточки дисковых пил ( $D = 200...450$ мм) по задней поверхности зубьев	ВЗ-318Е.П57
Приспособление для заточки дисковых пил ( $D = 200...450$ мм) по торцу зубьев	ВЗ-318.П56
Приспособление для заточки дисковых твердосплавных пил ( $D = 200...450$ мм) по передней и задней поверхностям зубьев	ВЗ-318.П55
Приспособление для заточки зенкеров и ступенчатых сверл ( $D \leq 50$ мм)	3Е642Е.П19
Приспособление для заточки инструмента по спирали	ВЗ-318.П26, 3Е642Е.П28
Приспособление для заточки косозубых долбяков ( $D \leq 100$ мм)	3Е642Е.П23
Приспособление для заточки отрезных фрез ( $D = 50...160$ мм)	ВЗ-318.П53
Приспособление для заточки по копиру	3Е642Е.П22-01
Приспособление для заточки по радиусу	3Е642Е.П13
Приспособление для заточки по спирали по задней поверхности	ВЗ-318.П28
Приспособление для заточки резцов	ВЗ-318.П27
Приспособление для заточки торцовых фрез ( $D = 80...400$ мм)	3Е642Е.П21
Приспособление для заточки фасонных острозаточенных фрез ( $D = 50...100$ мм)	3Е642Е.П36
Приспособление для заточки фрез ( $D = 80...400$ мм) по радиусу	3Е642Е.П50
Приспособление для затылования метчиков	3Е642Е.П51
Приспособление для линейной правки круга и установки центров	3Е642Е.П5
Приспособление для наружного круглого шлифования	3Е642Е.П17, ВЗ-318.П17
Приспособление для торцевой шлифовки зубьев дисковых пил ( $D = 200...400$ мм)	ВЗ-318.П54
Приспособление для цилиндрической заточки сверл ( $D = 3...20$ мм)	ВЗ-318Е.П10
Приспособление универсальное для правки круга	3Е642Е.П25-01
Стол поворотный	3Е642Е.П30
Тиски с конусным хвостовиком (длина губок 80 мм)	3Е642Е.П11
Тиски трехповоротные	ВЗ-318.П16
Тиски трехповоротные (длина губок 100 мм)	3Е642Е.П37
Упорка универсальная	3Е642Е.П4

Выбор формы и размера круга определяется конструкцией и назначением заточиваемого инструмента, причем размеры круга зависят также и от конструктивных особенностей станка. Производительность процесса заточки, качество обработанных поверхностей, стойкость режущего инструмента, себестоимость операции заточки во многом зависят от того, насколько правильно и обоснованно выбраны характеристика абразивного круга (абразивный материал, зернистость, связка, твердость, структура) и условия его эксплуатации (с применением СОТС или без применения).

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ЗАТОЧКИ И ДОВОДКИ ЛЕЗВИЙНОГО ИНСТРУМЕНТА

Технологические особенности процесса заточки и доводки лезвийного инструмента характеризуются следующими основными признаками:

а) кинематической схемой резания, осуществляемой торцом или периферией шлифовального круга (рис. 2, а, б);

б) характером контакта заточиваемой поверхности с режущей поверхностью шлифовального круга – непрерывным и прерывистым (рис. 2, в, г);

в) регламентированием параметров производительности обработки; по подаче – жесткая заточка (рис. 2, а, б, г) или по нормальной силе резания – упругая заточка (рис. 2, в, д);

г) схемой съема припуска – многопроходной, глубокой, врезной;

д) способом заточки – обычным (механическим), электрохимическим (электроабразивным, электроалмазным и др.).

При заточке режущих инструментов применяют кинематическую схему резания, основанную на сочетании двух движений: вращательного, сообщаемого шлифовальным кругом со скоростью резания  $v_k$ , и поступательного прямолинейного со скоростью продольной подачи стола  $S_{np}$ , сообщаемого заточиваемому инструменту.

Заточка торцом шлифовального круга является основным способом заточки инструментов как на универсально-заточных, так и на специальных заточных станках.

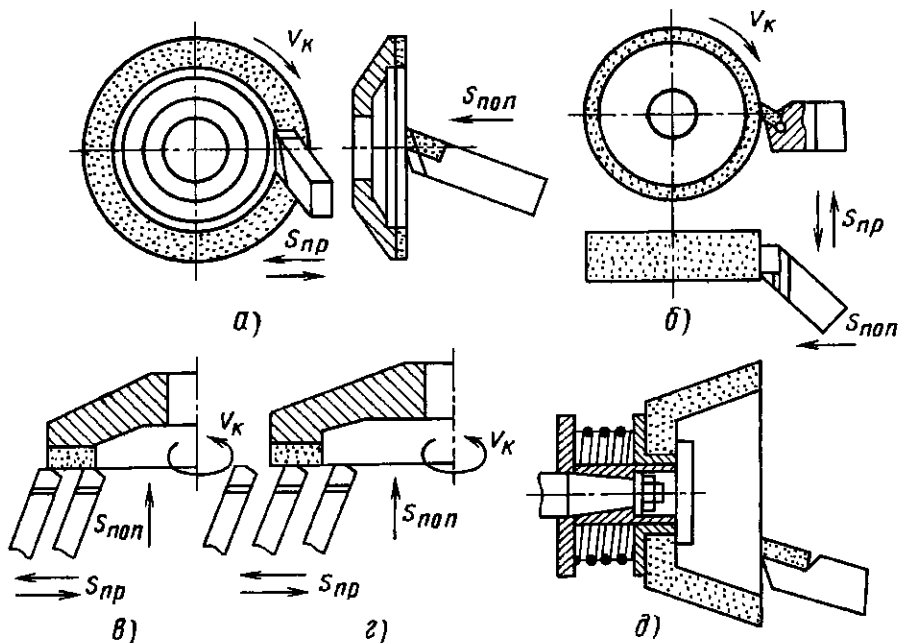


Рис. 2. Разновидности процесса заточки: а – торцом и б – периферией круга; в – с непрерывным и г – прерывистым контактом; д – с упругим элементом

Широкое распространение получила заточка с прерывистым контактом, при которой в процессе продольной подачи шлифовальный круг и заточиваемый инструмент периодически выходят из контакта. Недостаток этого метода – образование завалов на участках входа и выхода обрабатываемой поверхности, особенно при работе на жестких станках.

Непрерывный контакт круга с заточиваемой поверхностью обеспечивается при регламентированной нормальной силе резания – упругой заточке.

Жесткая заточка наиболее широко распространена в технологических процессах обработки режущего инструмента. Упругую заточку осуществляют путем введения в систему станок – приспособление – круг – инструмент упругого элемента (пружин, мембран, резины и т.п.) Интенсивность съема при упругом способе заточки определяют по величине силы прижима круга (давления) к заточиваемому инструменту и режущей способности круга. Эта заточка обеспечивает высокое качество обработанной поверхности (без прижогов, трещин и других дефектов).

При многопроходной заточке инструмента съем припуска осуществляют за большое число проходов при малой величине поперечной подачи (0,005...0,2 мм) и значительных продольных подачах. При глубиной заточке весь припуск снимают обычно за один – три прохода при большой поперечной подаче (0,2...2 мм) и малой продольной подаче (0,01...1,0 м/мин). Заточку врезным способом осуществляют при поперечной подаче и непрерывном контакте круга с заточиваемой поверхностью инструмента без продольной подачи.

При обычном (механическом) способе заточки инструмента съем припуска осуществляют кругами из электрокорунда, карбида кремния, алмаза или эльбора. При электроалмазной заточке удаление припуска происходит преимущественно в результате анодного растворения, резания и электроэрозии.

### ЗАТОЧКА И ДОВОДКА ИНСТРУМЕНТА ОСНАЩЕННОГО ТВЕРДЫМ СПЛАВОМ

Геометрические параметры режущей части лезвийного инструмента создают заточкой и доводкой передних и задних поверхностей. Как правило, сначала заточивают передние, а затем задние поверхности. Фасонные и мерные инструменты (развертки, протяжки) перетачивают по передним поверхностям.

При заточке задних поверхностей инструмента, когда круг не требуется вводить в стружечную канавку, используют круги чашечной формы или плоские с односторонней выточкой. Передние поверхности многолезвийного инструмента с прямолинейным зубом заточивают торцевой поверхностью кругов тарельчатой формы.

*Выбор характеристики образивных кругов и режимов обработки.* На процесс заточки и качество заточиваемых поверхностей режущего инструмента, производительность и экономичность операций большое влияние оказывает правильный выбор характеристик шлифовальных кругов и режимов обработки. Выбор характеристики шлифовального круга зависит от вида заточной операции, конструкции и назначения режущего инструмента, материала его рабочей части (табл. 7). В свою очередь, назначение режима обработки зависит от материала заточиваемого инструмента и характеристики выбранного круга.

Для заточки твердосплавного инструмента применяют круги из карбида кремния зеленого (КЗ). Кругами из КЗ выполняют операции черновой заточки. С увеличением зернистости кругов из КЗ уменьшается их износ, снижается вероятность образования трещин на пластинках из твердого сплава, но ухудшается шероховатость поверхности. Круги из КЗ применяют на керамической и бакелитовой связках.

Широкое применение получила керамическая связка. При работе кругами из этой связки необходимо строго соблюдать требования по ограничению скорости вращения круга. Круги на бакелитовой связке применяют на одну-две степени большей твердости, чем круги на керамической связке. Они допускают работу при более высоких скоростях резания.

При выборе кругов из КЗ особое внимание уделяют выбору их твердости, которая оказывает большое влияние на работоспособность. Широко применяют круги на керамической связке твердостью М2 – СМ1, а на бакелитовой – М3 – С1.

Для обработки твердых сплавов, склонных к образованию трещин, применяют мягкие круги. С увеличением прочности сплавов можно применять круги более высоких степеней твердости. Круги повышенной твердости в некоторых случаях применяют при заточке многолезвийного инструмента для увеличения точности обработки, но при этом необходимо площадь контакта торцевой поверхности круга с инструментом уменьшать за счет поднутрения режущей поверхности круга.

### 7. Характеристика кругов из карбида кремния зеленого (КЗ) и режимы резания для заточки твердосплавных инструментов

Операция	Обрабатываемый материал	Форма круга (тип)	Характеристика круга*			Режимы резания				
			Зернистость	Связка	Твердость	Скорость круга, м/с	Скорость детали, м/мин	Продольная подача, м/мин	Поперечная подача, мм/дв. ход	
Круглое наружное шлифование рабочей части инструментов	Т30К4, ВК2 Т14К8, ВК6 ВК8	Тип 1 (ПП)	40/25	К	М3	12	25	2...3	0,02	
					СМ1	15			0,03	
					С1	20			0,05	
Заточка открытых поверхностей рабочей части инструментов	Т30К4 ВК2, Т15К6 Т14К8 ВК6, ВК8 Т15К6	Тип 6 (ЧЦ), тип 11 (ЧК)	40/25	К	М2	8	-	1...3	0,03...	
					Б	10			0,05	
					К	12			0,08...	
Заточка передних поверхностей многолезвийных инструментов	Т30К4 ВК2, Т15К6 Т14К8 ВК6, ВК8	Тип 11 (ЧК), тип 14 (1Т)	25/16	К	М3- СМ1	10...12	-	2...3	0,02...	
					Б	СМ1			15	0,03
					К	СМ2			18	0,05
					Б	СМ2			15	
К	С1	18								

\* Структура кругов из КЗ на керамической связке № 6 - 8, а на бакелитовой связке № 4; 5.

Примечания: 1. При заточке твердосплавных инструментов следят за тем, чтобы затачивалась только рабочая часть инструмента с возможно меньшим касанием его к стальной державке.

2. Хрупкость кругов из КЗ не позволяет их применять для обработки стали, так как высокая вязкость ее вызывает при шлифовании большие усилия резания, способствующие интенсивному выкрашиванию режущих зерен и выпаданию из связки.

3. Для обработки стальных державок инструментов применяют круги из электрокорунда.

Правильность выбора твердости кругов из КЗ может быть проверена по величине их удельного объемного износа. При механизированной заточке инструмента круг должен интенсивно самозатачиваться. Оптимальный удельный объемный износ при этом составляет 20...30 мм<sup>3</sup> круга на 1 мм<sup>2</sup> снимаемого твердого сплава. При такой величине износа круг практически не нуждается в правке.

При ручной заточке допускается уменьшение удельного износа круга до 5 мм<sup>3</sup>/мм<sup>2</sup> путем повышения твердости и скорости его вращения, при этом необходима частая правка. При одних и тех же режимах заточки износ кругов из КЗ возрастает с увеличением содержания карбидов титана и уменьшением содержания кобальта в пластинах твердого сплава.

*Заточка и доводка алмазными кругами.*  
Применение алмазных кругов при шлифова-

нии, заточке и доводке режущего инструмента обеспечивает улучшение качества и повышение производительности заточки, сокращение расхода инструментальных материалов, повышение точности и производительности обработки деталей, совершенствование технологии и культуры инструментального производства.

Алмазная заточка и доводка режущего инструмента способствуют повышению его стойкости до 2...3 раз, приводят к сокращению расхода твердых сплавов в 1,5...2 раза и обеспечивают высокое качество обработанной поверхности. Использование алмазных кругов позволяет значительно расширить номенклатуру металлорежущего и измерительного инструмента, оснащенного твердым сплавом.

Высокая стойкость алмазных кругов, их способность длительное время сохранять за-

дающие профиль и размер позволяют изготовлять сложнопрофильный прецизионный твердосплавный инструмент (модульные червячные фрезы, протяжки, долбяки, метчики и др.).

При использовании алмазных кругов усилия в 3...5 раз меньше, чем при затачивании абразивными кругами из КЗ, что исключает высокий нагрев, образование трещин и других дефектов на обработанной поверхности инструмента. Алмазная обработка инструмента обеспечивает получение параметра шероховатости обработанной поверхности в пределах  $Ra = 0,032...0,16$  мкм и радиуса режущих кромок  $\rho = 8...10$  мкм без зазубрин и выкрашиваний.

Форму, размеры и характеристики алмазных кругов для обработки твердосплавного режущего инструмента следует выбирать с учетом вида, конструктивных особенностей и размеров обрабатываемого инструмента, требований к точности, шероховатости и радиусу его режущих кромок, величины снимаемого припуска, назначения выполняемой операции (шлифования, заточки, доводки) и применяемого оборудования. При этом должна учитываться экономическая эффективность процесса заточки (количество обрабатываемого инструмента и другие факторы).

Рекомендации по выбору зернистости и связок алмазных кругов в зависимости от требуемой шероховатости при различных видах обработки твердосплавного инструмента приведены в табл. 8.

Концентрация алмазов в круге определяет его режущие свойства, срок службы, производительность и стоимость операции заточки. В зависимости от вида связки для заточки режущего инструмента применяют круги 50-, 100- и 150 %-ной концентрации. При ручной заточке инструмента выгоднее применять круги 150 %-ной концентрации, что снижает расход кругов и существенно увеличивает режущую способность и стойкость инструмента.

Режмы резания при заточке твердосплавного инструмента выбирают в зависимости от выполняемой операции и способа заточки, характеристики алмазного круга, обрабатываемого материала и требований, предъявляемых к качеству затачиваемого инструмента.

В табл. 9 приведены оптимальные характеристики кругов из синтетических алмазов и режимы заточки твердосплавного инструмента. Приведенные режимы резания являются экономичными, они обеспечивают наименьшую стоимость при высоком качестве заточки.

#### 8. Выбор зернистости и связок алмазных кругов в зависимости от требуемой шероховатости поверхности и вида операции

Ra, мкм	Шлифование		Заточка			Доводка
	Металлическая и керамическая связка	Органическая связка	Металлическая связка	Керамическая связка	Органическая связка	Органическая связка
0,63...0,32	АСР 125/100-80/63	АСО 160/125-100/80	АСР 125/100-80/63 АСВ 125/100-80/63	АСР 250/200-200/160	АСР 160/125-100/80 АСОМ 160/125-100/80 АСРМ 160/125-100/80	-
0,32...0,16	АСР 80/63-50/40	АСО 100/80-50/40	АСР 80/63-50/40 АСВ 80/63-50/40	АСР 200/160-100/80	АСО 100/80-63/50 АСРМ 100/80-63/50 АСОМ 100/80-63/50	-
0,16...0,08	-	АСО 80/40-АСМ 40/28	-	АСР 63/50-АСМ 40/28	-	АСО 50/40-АСМ 40/28
0,08...0,04	-	АСМ 40/28-14/10	-	-	-	АСМ 40/28-14/10
0,04...0,02	-	АСМ 14/10-7/5	-	-	-	АСМ 14/10-7/5

## 9. Режимы резания при алмазной заточке твердосплавного инструмента

Операция	Характеристика круга				Режимы заточки		
	Марка алмаза	Зернистость	Связка	Концентрация, %	Скорость резания, м/с	Поперечная подача, мм/дв.ход	Продольная подача, м/мин
Заточка твердосплавной части при жестком креплении инструмента	АСОМ; АСРМ	80/63-125/100	Б1	100	20...25	0,03...0,05	2...3
Заточка твердосплавной части с касанием по стальной державке: при жестком креплении инструмента при ручной заточке	АСР	100/80-125/100 80/63-125/100	МВ1 МО13	100 100... 150	15...20 20...25	0,05...0,08 Ручная*	2...3 Ручная*
Заточка твердосплавной части вместе со стальной державкой при жестком креплении инструмента	АСР	125/100- 250/200	К1	100	25...30	0,03...0,05	1,5...2,0
Шлифование стружколомающих канавок при жестком креплении инструмента: глубинное врезное	АСР АСВ	100/80-125/100	МО4 МС6	100; 150 150	15...20	$t = 0,5...1$ мм	0,2...0,05
Глубинная заточка твердосплавной части с касанием по стальной державке при жестком креплении инструмента	АСВ АСР	100/80-125/100	МО13 МО4	100 150	15...20	$t = 0,5...1$ мм	0,15...0,25
Вышлифовывание стружечных канавок монолитного мелко-размерного инструмента с вертикальным врезанием круга	АСВ	80/63-63/50	МС6	150	15...20	Вертикальная подача	-

\*Заточка многолезвийного инструмента по передней и задней поверхностям; заточка резцов, сверл без крепления.

*Особенности технологического процесса заточки и доводки твердосплавного инструмента.* При заточке и доводке режущего инструмента выполняют следующие операции: черновое и чистовое круглое шлифование рабочей части инструмента, заточку передних и задних поверхностей, доводку фасок и ленточек, нанесение стружколомающих элементов (канавок, лунок, порожков).

Наибольшее распространение в машиностроении получили технологические процессы обработки твердосплавного режущего инструмента, включающие заточку его кругами из карбида кремния зеленого и доводку кругами из синтетических алмазов. Более прогрессивными и экономичными являются технологические процессы полиой алмазной заточки твердосплавного инструмента кругами из синтетических алмазов.

Применение алмазных кругов и новых высокопроизводительных связках позволяет совместить операции заточки и доводки для многих видов инструмента в одной операции. При этом требуемого качества обработки достигают или благодаря выбору соответствующей характеристики алмазного круга, или выхаживанию при заточке (без попеременной подачи). Доводку рабочих поверхностей инструмента по фаскам выполняют при повышенных требованиях к точности размеров и качеству поверхностей инструмента.

Для повышения работоспособности алмазных кругов и увеличения экономической эффективности алмазной заточки в конструкцию твердосплавного металлорежущего инструмента вносят изменения, уменьшающие или исключают контакт алмазных кругов с державками резцов и корпусами многолезвийного твердосплавного инструмента. Рекомендации по изменению конструктивных элементов и геометрических параметров твердосплавного инструмента, обрабатываемого алмазными кругами, содержатся в технической документации по проектированию такого инструмента на предприятиях.

Рекомендованы следующие варианты построения технологических процессов алмазной заточки и доводки твердосплавного инструмента в зависимости от припуска под заточку и конструкции инструмента.

**Напайные инструменты. Вариант I.** Заточка державки кругами из электрокорунда; заточка твердого сплава кругами из КЗ; доводка фасок и ленточек кругами из АС; припуск не более 0,5 мм.

**Вариант II.** Заточка и доводка твердого сплава со стальной державкой кругами из АС на металлической (электроалмазным способом, с применением СОТС) и керамической связках; припуск не менее 0,5 мм.

**Вариант III.** Заточка и доводка твердосплавной пластинки кругами из АС (при условии нависания пластинки над задними поверхностями державки главной и вспомогательной).

**Монолитные инструменты.** Заточка кругами из АС на металлических связках (с применением СОТС); доводка кругами из АС на органических связках.

Алмазные круги на металлической связке позволяют снимать большие припуски при большей износостойкости, а круги на органической связке позволяют получать лучшее качество обработанной поверхности.

Работоспособность алмазных кругов на керамических связках, позволяющих одновре-

менно затачивать твердосплавную пластинку со стальной державкой, повышается с уменьшением обрабатываемой поверхности стальной державки. Для уменьшения припусков, снимаемых при переточках твердосплавного инструмента, необходимо обеспечить его нормальную эксплуатацию, особенно своевременное снятие затупленного инструмента для переточки.

Твердосплавные инструменты, поступающие на переточку, по степени износа и разрушения режущей части разделяют на две группы: инструменты с допустимым износом, небольшими выкрашиваниями и мелкими сколами режущей части и инструменты со значительным износом, большими выкрашиваниями и сколами режущей части. Твердосплавные инструменты первой группы перетачивают только алмазными кругами, инструменты второй группы до переточки алмазными кругами могут быть предварительно обработаны кругами из карбида кремния.

При переточке и восстановлении твердосплавного инструмента после износа режущих кромок в пределах 0,05...0,10 мм производят только доводку. При сильном затуплении инструмента (выше 0,5 мм) производят заточку со съемом припуска и последующую доводку.

По мере износа пластинок твердого сплава через каждые три – четыре переточки производят обработку задних поверхностей стальных державок и корпусов многолезвийного инструмента кругами из обычных абразивов (электрокорунда и карбида кремния зеленого).

## **ЗАТОЧКА И ДОВОДКА ИНСТРУМЕНТА ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ**

Для заточки инструмента из быстрорежущей стали применяют круги из электрокорунда, монокорунда, карбида кремния, алмазов и кубического нитрида бора (КНБ) – эльбора, кубонита и гексанита. Круги из КНБ являются самыми эффективными для обработки инструмента из быстрорежущих сталей, в том числе сталей, характеризующихся трудной обрабатываемостью шлифованием.

При заточке инструментов из быстрорежущей стали находят применение несколько вариантов технологического процесса.

**Вариант I. Заточка в одну операцию:**  
а) кругами из электрокорунда или монокорунда на керамической связке; б) кругами из мелкозернистого монокорунда на бакелитовой связке; в) кругами из эльбора.

*Вариант II. Заточка в две операции:*

а) кругами из электрокорунда или монокорунда предварительно и мелкозернистого карбида кремния окончательно; б) кругами из электрокорунда предварительно, кругами из алмазов окончательно; в) кругами из электрокорунда предварительно, кругами из эльбора окончательно.

Заточку по варианту *Ia* применяют для получения заточенной поверхности с  $Ra \geq 0,63$  мкм, а по остальным вариантам  $Ra < 0,32$  мкм; при этом варианты *Ia*, *Iб*, *IIa*, *IIб* и *IIв* применяют, когда припуск на заточку превышает 0,2...0,3 мм, при этом используют круги из эльбора на связках Б1 или КБ. Для заточки инструментов по варианту *Iв* применяют эльборовые круги при съеме припуска до 0,2 мм на связках Б1 или КБ, а при съеме припуска 0,3...0,5 мм и более — на связках БИ1 и С10.

Варианты заточки в две операции (предварительно и окончательно) обеспечивают получение инструмента примерно одинакового качества, однако по производительности, а следовательно, и по экономическим показателям, варианты *IIa* и *IIб* значительно уступают варианту *IIв*.

Доводка алмазными кругами (*IIб*) и абразивными мелкозернистыми кругами из карбида кремния (*IIa*) неэффективна из-за малой стойкости кругов, большого расхода алмазов и необходимости частой правки.

Круги из эльбора не засаливаются и почти не изменяют свои режущие свойства в процессе шлифования и заточки быстрорежущих сталей и работают в режиме самозатачивания до полного износа.

Круги из электрокорунда и монокорунда для круглого, плоского и внутреннего шлифования инструмента из быстрорежущих сталей выбирают следующей характеристики: зернистость 16, 25 и 32; связка боросодержащая К51Б или керамическая К; твердость от М2 до СМ1; структура 7...8. Круги из монокорунда по сравнению с кругами из электрокорунда обладают повышенной режущей способностью и износостойкостью, обеспечивают уменьшение шероховатости обработанной поверхности, снижение дефектов в поверхностных слоях.

Круги из монокорунда зернистостью 16, 25 и 32 применяют для черного и чистового торцового, круглого и плоского шлифования инструмента из быстрорежущих сталей для получения  $Ra = 0,63...1,25$  мкм; для заточки этих же инструментов для получения  $Ra$  до

0,63 мкм при ширине обрабатываемой поверхности выше 2,5 мм; для профильного шлифования инструмента из этих сталей при припуске на обработку свыше 0,3 мм.

Круги из монокорунда зернистостью 8, 10 на бакелитовой связке Б применяют при необходимости получения параметра шероховатости обработанной поверхности  $Ra = 0,32$  мкм.

*Заточка и доводка кругами из эльбора.* Круги из эльбора имеют следующие преимущества при заточке режущего инструмента по сравнению с заточкой абразивными кругами: независимо от марки быстрорежущей стали режущие свойства кругов из эльбора в процессе шлифования почти не меняются; при заточке кругами из эльбора в поверхностном слое металлорежущих инструментов не происходит структурных изменений (количество остаточного аустенита не более 10...13 %); высокие режущие свойства эльбора позволяют применять для съема относительно больших припусков круги сравнительно мелкой зернистости (8...12), что обеспечивает параметр шероховатости поверхности  $Ra = 0,32...0,63$  мкм; высокая износостойкость кругов из эльбора повышает стабильность геометрических параметров режущего инструмента и уменьшает радиус округления его режущих кромок.

Высокое качество поверхности и радиус округления режущих кромок, отсутствие прижогов, точность геометрических параметров обеспечивают повышение стойкости инструмента из быстрорежущих сталей после заточки их кругами из эльбора в 1,5...2 раза по сравнению с заточкой кругами из электрокорунда.

Эффективность заточки режущего инструмента кругами из эльбора зависит от правильного выбора их формы, размера и характеристики, режимов обработки, метода правки и состава СОТС.

Для заточки инструментов из быстрорежущих сталей применяют круги из эльбора зернистостью Л10—Л12 100 %-ной концентрации на органических КБ, Б1, Б156 и керамических связках К, БИ1 и С10, которые обеспечивают параметр шероховатости обработанной поверхности  $Ra = 0,32...0,63$  мкм. Уменьшение зернистости кругов резко снижает производительность заточки при незначительном снижении шероховатости обработанной поверхности. Лишь при работе узкокромочными кругами Л1Т, когда площадь контакта круга с изделием относительно мала, возможно уменьшение зернистости кругов до Л6—Л8. При увели-



ченности зернистости кругов до Л25 производительность увеличивается незначительно, а качество поверхности ухудшается.

Для операций круглого и плоского шлифования, заточки режущего инструмента из быстрорежущих сталей, отличающихся плохой шлифуемостью, применяют круги из эльбора ЛП зернистостью ЛП12 – ЛП25 на керамической связке К твердостью от СМ1 до С1, 6 – 8-й структуры 100 %-ной концентрации.

Круги из эльбора ЛО на органических связках типа Б156, КБ, Б1 зернистостью ЛО10 – ЛО25 100 %-ной концентрации применяют на операциях чистового шлифования и заточки, а зернистостью Л08 – ЛМ40 – для доводки режущего инструмента.

Шлифование и заточку с достижением параметра шероховатости поверхности  $Ra =$

$= 0,16...0,32$  мкм при съеме припуска до 0,3 мм следует производить кругами из эльбора зернистостью Л5 – Л12 при 100 %-ной концентрации.

Для заточки передних поверхностей инструмента с прямыми стружечными канавками (метчиков, разверток) применяют круги на связках Б1 и Б156. Для инструмента с винтовыми канавками (концевых фрез) применяют круги только на связках КБ; круги на связке Б156 труднее поддаются обработке и правке, поэтому их применены при заточке инструмента с винтовыми канавками, когда надо придать кругу необходимый профиль, малоэффективно.

Рекомендуемые режимы шлифования и заточки инструмента кругами из эльбора на органической и керамической связках приведены в табл. 10.

### 10. Режимы шлифования и заточки инструмента кругами из эльбора

Операция	Скорость		Подача		Глубина шлифования, мм/дв.ход
	круга, м/с	изделия, м/мин	продольная, м/мин	поперечная, мм/ход	
<i>Для кругов на органической связке</i>					
Круглое наружное шлифование:					
черновое	30...35	10...20	0,5...1,0	–	0,02...0,03
чистовое	30...35	8...10	0,5...1,0	–	0,005...0,010
Плоское шлифование (периферней круга)	30...40	–	3,0...5,0	0,3...0,6	0,010...0,030
Заточка режущего инструмента:					
без СОЖ	20...30	–	0,5...1,0	–	0,010...0,020
с СОЖ	30...35	–	0,8...1,5	–	0,030...0,050
<i>Для кругов на керамической связке</i>					
Круглое наружное шлифование	30...35	10...25	0,5...1,0	–	0,010...0,050
Внутреннее шлифование	30...35	–	0,3...1,0	–	0,005...0,015
Плоское шлифование (периферней круга)	30...35	–	8...10	0,3...0,6	0,040...0,100
Шлифование резьбы	30...45	0,5...0,8	–	–	До 0,40
Шлифование эвольвентного профиля круглых протяжек	28...35	–	1,5...2,0	–	0,010...0,030
Шлифование профиля зубьев червячно-модульных фрез	25...35	0,2...0,4	–	0,03...0,05	–

Примечания: 1. Из режимов заточки наибольшее значение имеет выбор скорости круга, продольной подачи и числа двойных ходов в минуту, так как только эти параметры при заточке на универсально-заточном станке могут быть регламентированы. Увеличение скорости круга повышает производительность заточки и уменьшает шероховатость обработанной поверхности, но при этом одновременно возникает опасность образования прижогов. Выбор скорости круга зависит от площади контакта рабочей поверхности круга и заточиваемой поверхности инструмента, а также наличия охлаждения. С увеличением площади контакта скорость круга снижают, так как возрастает опасность появления прижогов.

2. Оптимальное значение продольной подачи при снятии припуска 2...3 м/мин, а при выхаживании 1,0...1,5 м/мин.

Шлифование, заточку и доводку инструмента из быстрорежущих сталей кругами из эльбора производят с применением СОТС. Возможна работа кругами без применения охлаждения.

Составы СОТС для чистовой заточки и доводки инструмента из быстрорежущей стали кругами из эльбора на керамической и органической связках приведены ниже.

Содержание, %, по массе	
1. Триэтилоламин .....	0,60
Масло ализарниновое .....	0,50
Натрий азотистокислый .....	0,25
Бура .....	0,26
Вода .....	Остальное
2. Тринарийфосфат .....	0,60
Бура .....	0,25
Натрий азотистокислый .....	0,25
Масло ализарниновое .....	0,50
Вода .....	Остальное
3. Натрий азотистокислый .....	0,3...0,5
Вода .....	Остальное

## ЗАТОЧКА И ДОВОДКА ИНСТРУМЕНТА ИЗ СИНТЕТИЧЕСКОГО СВЕРХТВЕРДОГО МАТЕРИАЛА

Для повышения производительности и качества заточки и доводки как вновь изготавливаемых резцов из синтетических сверхтвердых материалов, так и при их восстановлении большое значение имеет правильный выбор варианта технологического процесса заточки и доводки.

При изготовлении резцов из синтетических поликристаллических алмазов (АСПК) могут быть рекомендованы следующие варианты технологических процессов заточки и доводки:

*вариант I.* Заточка алмазными кругами на металлической связке с упругим прижимом инструмента (упругая заточка) и с прерывистой непрерывной правкой круга; доводка алмазными кругами на органической связке с жестким прижимом инструмента (жесткая доводка);

*вариант II.* Заточка электроалмазным способом кругами на металлической связке с упругим прижимом инструмента (упругая заточка) и обратной полярностью тока; доводка алмазными кругами на органической связке с жестким прижимом инструмента (жесткая доводка);

*вариант III.* Заточка кругами на органической связке с жестким прижимом инструмента (жесткая заточка) и периодической правкой круга; доводка чугуном дном, шаржированным алмазным порошком, с упругим прижимом инструмента (упругая доводка).

При заточке и доводке вновь изготавливаемых резцов из АСПК выполняют следующие технологические операции: черновую заточку главной и вспомогательной задних поверхностей; черновую заточку передней поверхности; чистовую заточку по главной и вспомогательной задним поверхностям; чистовую заточку по передней поверхности; доводку задних поверхностей; доводку передней поверхности резца.

При восстановлении резцов из АСПК применяют чистовую заточку задних поверхностей; чистовую заточку передней поверхности; доводку задних поверхностей; окончательную доводку передней поверхности резца.

Черновую заточку производят при обработке заготовок АСПК для формирования рабочих поверхностей у сборных резцов (с механическим креплением), а также для получения базовых поверхностей на поликристалле перед его закреплением во вставку методами порошковой металлургии или индукционной пайки. В этом случае заточку производят совместно со стальным корпусом державки резца или вставки.

Площадь контакта шлифовального круга с обрабатываемой поверхностью режущего инструмента из АСПК в процессе заточки и, в особенности, доводки мелкозернистым кругом в большой степени влияет на нагрев, образование трещин, точность геометрической формы, шероховатость обрабатываемой поверхности и расход алмазных кругов. Поэтому производят заточку и доводку с минимально возможной площадью контакта шлифовального круга и затачиваемого инструмента.

Для уменьшения площади контакта производят черновую и чистовую заточку по задним и передним поверхностям резца под углами больше на 2...3°, чем предусмотрено чертежом, с тем, чтобы доводку производить только по узкой фаске с минимальной площадью контакта.

Шлифование или переточку резцов на АСПК начинают с передней поверхности. Затем обрабатывают задние поверхности и образуют радиусную режущую кромку. При последней операции — доводке передней поверхности — удаляют все сколы, выкрашивания и другие дефекты.

При шлифовании и доводке передней поверхности резцов направление вращения шлифовального круга или доводочного диска должно быть на режущую кромку, а направление подачи — навстречу режущей кромке (наибольшее отклонение  $45^\circ$ ). Этим избегают сколов алмаза и появления выкрашиваний на режущей кромке. После окончательного шлифования и доводки параметр шероховатости рабочих поверхностей алмаза  $Ra = 0,08 \dots 0,16$  мкм.

Для черновой заточки режущих элементов у сборных резцов из АСПК применяют заточку алмазным кругом на металлической связке с жестким прижимом и принудительной непрерывной правкой круга абразивными брусками. В случае черновой заточки резцов из АСПК совместно с металлической державкой применяют электроалмазную заточку алмазными кругами на металлической связке с жестким прижимом и обратной полярностью электрического тока.

Для чистовой заточки резцов из АСПК в основном применяют заточку алмазными кругами с жестким прижимом на органической связке с периодической правкой.

В некоторых случаях, а именно, для чистовой заточки рабочих поверхностей резцов, в которых поликристаллы АСПК закреплены в металлических державках, производят электроалмазную заточку кругами на металлической связке с упругим прижимом и обратной полярностью электрического тока.

Последней операцией технологического процесса изготовления резцов из АСПК является доводка всех рабочих поверхностей режущей части. Ее осуществляют алмазными мелкозернистыми кругами на органической связке с жестким прижимом к кругу или чугунным диском, шаржированным алмазным микропорошком.

Переточку резцов производят при износе по задней поверхности  $h_3 = 0,25$  мм (чистовое точение) и  $h_3 = 0,30$  мм (получистовое точение).

Для заточки и доводки инструментов из АСПК применяют алмазные круги формы 6А2 и 12А2-45° с размерами: диаметр 125...200 мм, ширина алмазоносного кольца 10...20 мм с толщиной кольца 3...5 мм; для черновой заточки (с жестким прижимом и с принудительной непрерывной правкой круга) на металлических связках МВ1, М20; для электроалмазной заточки (с жестким прижимом и обратной полярностью тока) на метал-

лических связках МВ1, М20, ТМ2; для чистовой заточки, электроалмазным способом (с упругим прижимом и обратной полярностью тока) на металлических связках МВ1, М20, ТМ2; для черновой и чистовой заточки (при заточке с жестким прижимом и периодической правкой круга) на органических связках Т02, БП2, БП3; при доводке (с жестким прижимом и периодической правкой круга) на органических связках Б1, Т02.

В алмазных кругах при заточке и доводке инструментов из АСПК применяют следующие зернистости алмазов: для черновой заточки — 200/160, 160/125, 125/100; для чистовой заточки — 100/80; 80/63; для доводки — 50/40, 40/28, 28/20.

Концентрацию алмазных кругов выбирают для предварительной и чистовой заточки 150 %, 100 %, для доводки 50 %.

Марки алмазов в кругах при заточке — АСК, АСВ, АСР; при доводке — АСР, АСО.

При доводке, осуществляемой на притирочных или ограниченных станках чугунными дисками, применяют алмазный порошок или алмазную пасту АСН, АСМ зернистостью 20/14 — 7/5.

Концентрация алмазного порошка, шаржированного на чугунном диске, при доводке резцов из АСПК влияет на увеличение съема поликристалла в определенных пределах. Наиболее производительный процесс доводки обеспечивает концентрация порошка в пределах  $0,032$  кар/см<sup>3</sup> (1,5...2,0 карата на площади диска диаметром 400 мм).

Для заточки резцов из поликристаллического нитрида бора (компазнтов), отличающихся значительно лучшей обрабатываемостью по сравнению с инструментами из АСПК, применяют алмазные круги формы 6А2 или 12А2-45° диаметром 150...200 мм из алмазов АСР или АСО зернистостью 100/80, 80/63 на связках Т02 и Б1 100 %-ной концентраций. Режимы обработки резцов приведены в табл. 11.

В связи с повышенной чувствительностью инструментов к вибрациям и удельным нагрузкам к станкам для заточки и доводки предъявляют повышенные требования по жесткости и виброустойчивости.

По точности станки должны соответствовать следующим классам: для заточки — высокой точности (В), особо высокой точности (А) и частично повышенной точности (П); для доводки — высокой точности (В), особо высокой точности (А) и особо точные (С).

## 11. Режимы обработки резцов

Операция	Скорость круга, м/с	Поперечная подача, м/дв. ход	Продольная подача, м/мин	Напряжение, В	Плотность тока, А/см <sup>2</sup>	Время выжигания, мин
Электроалмазная заточка*	26...30	0,01...0,02	1,0...2,0	5...6	80	—
<i>Резцы из АСПК</i>						
Заточка алмазными кругами на металлической связке (с жестким прижимом и непрерывной правкой круга)	20...25	0,01...0,02	3,0...4,0	—	—	—
Заточка алмазными кругами на органической связке (с жестким прижимом и периодической правкой круга)	25...30	0,01...0,02	1,0...2,0	—	—	—
Электроалмазная чистовая заточка (с упругим прижимом и обратной полярностью)*	20...25	На 10 дв. ходов шлифовальной головки	До 50 дв. ходов шлифовальной головки	5...6	80	0,5...1
Чистовая заточка алмазными кругами на органической связке (с жестким прижимом и периодической правкой кругом)	25...30	0,005...0,01	0,5...1,0	—	—	—
Электроалмазная заточка (с жестким прижимом и обратной полярностью тока)*	20...25	0,02...0,03 мм	До 50 дв. ходов шлифовальной головки	5...6	80	0,5...1
Доводка алмазными кругами (с жестким прижимом круга)	20...25	0,005	—	—	—	2...3
Доводка на алмазном круге притирочного станка с упругим прижимом	40...45	Сила прижима к кругу 5...10 Н	3,0...5,0	—	—	2...3
Доводка на чугунном диске ограниченного или доводочного станка	До 50	Сила прижима к диску 5...10 Н	3,0...5,0	—	—	—
<i>Резцы из поликристаллов нитрида бора</i>						
Заточка алмазными кругами на органической связке (с жестким прижимом)	20...30	0,01...0,06	0,5...2,5	—	—	—
Доводка алмазными кругами на органической связке	25...30	0,002	0,5...1,0	—	—	2...3

\*Скорость осцилляции круга при электроалмазной обработке 0...2,5 м/мин.

Для заточки и доводки инструментов из синтетических сверхтвердых материалов применяют универсально-заточные станки, станки для электроалмазной обработки, ограничные и доводочные станки моделей ВА-С1, ВА-С1А, ВА-С2, НИА-С6, НИА-С10, НИА-С22 и специальные ограничные станки. Применяют дру-

гие модели станков, не уступающие перечисленному оборудованию по нормам точности, жесткости и виброустойчивости.

Для заточки и доводки резцов и вставок применяют универсальные приспособления для заточки, например трехповоротные тиски и многоместные приспособления.

Заточка и доводка инструментов из синтетических поликристаллических алмазов должна обязательно производиться с охлаждением. Обработка, используемое для заточки и доводки, должно быть снабжено устройством для обильного охлаждения. В качестве СОМС применяют 2 %-ный раствор соды в воде или раствор, состоящий из 0,6 % нитрита натрия, 0,6 % глицерина, 1,8 % триэтаноламина и 97 % воды. Расход жидкости должен быть не менее 2...3 л/мин.

При электроалмазной заточке в качестве электролита используют следующий состав: 50...60 г/л нитрата натрия, 4...10 г/л нитрита натрия, 4...6 г/л углекислого натрия и 10...20 г/л технического дистиллированного глицерина. Применяют в качестве электролита также водный раствор 0,6 % нитрита натрия, 3,2 % нитрата натрия, 0,5 % бората натрия, 0,4 % фосфата натрия и 0,25 % углекислого натрия.

С целью повышения производительности заточки применяют водный раствор активного окислителя, состоящий из 12 % нитрита, 0,3 % углекислого натрия (каля) и 3 % олеинового масла. Подают раствор в зону обработки капельным способом; при избытке раствора происходит излишнее охлаждение алмаза, что снижает интенсивность съема припуска.

Заточку и доводку резцов из поликристаллического нитрида бора производят с охлаждением 1 %-ным раствором кальцинированной соды.

## КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЗАТОЧКИ И ДОВОДКИ

Основным эксплуатационным показателем режущего инструмента является его стойкость, которая в большей мере зависит от качества заточки и доводки.

Качество режущего инструмента определяется получением заданных чертежом и техническими условиями линейных и геометрических размеров, параметрами шероховатости

обработанной поверхности и состоянием поверхностного слоя (шлифовочные прижоги и трещины).

Формирование поверхностного слоя определяется главным образом характером физико-механического воздействия шлифовального круга на обрабатываемый материал инструмента, физико-химическими явлениями в зоне контакта, воздействием силового и температурного факторов на материал поверхностного слоя.

Применение шлифовальных кругов из синтетических алмазов и кубического нитрида бора при заточке и доводке режущего инструмента, по сравнению с абразивными кругами, обеспечивает более качественный поверхностный слой режущих лезвий инструмента. Алмазно-эльборовая обработка не вызывает на рабочих поверхностях обработанного инструмента высоких температур, не сопровождается структурно-фазовыми превращениями.

Управление процессом формирования физико-механических свойств поверхности режущих лезвий инструмента путем выбора оптимальных методов и режимов обработки является важным условием увеличения стойкости инструмента и обеспечения полного использования его режущих свойств при эксплуатации.

Окончательно заточенный и доведенный режущий инструмент следует проверять на соответствие чертежу и техническим условиям по величине углов, размерам ленточек и фасок, биению, прямолинейности и остроте режущих кромок, а также шероховатости поверхностей лезвий инструмента, наличию микротрещин, сколов и прижогов на заточенных поверхностях.

**Методы и средства контроля.** Контролируемые параметры режущего инструмента и методы их измерений в зависимости от требуемой точности приведены в табл. 12. Соответствие углов заточки и доводки требованиям чертежа проверяют с помощью угломера типа УРИ для измерения наружных и внутренних углов.

12. Методы и средства контроля режущего инструмента

Контролируемый параметр	Метод	Применяемые средства	Точность
Задний угол $\alpha$ от 6 до 35°	Оптический Сравнительный	Микроскопы БМИ, ММИ Угломер УН	0,5...2°
Передний угол $\gamma$ от -5 до +20°	Оптический Сравнительный	Микроскопы БМИ, ММИ Угломер УН	0,5...1°
Угол наклона главной режущей кромки $\lambda$ от -5 до +35°	Оптический Сравнительный	Микроскопы БМИ, ММИ Угломер УН	1°

Окончание табл. 12

Контролируемый параметр	Метод	Применяемые средства	Точность
Ширина доведенной ленточки $f$ от 0,05 до 1,2 мм	Оптический	Микроскопы БМИ, ММИ	0,01 мм
	Оптический	Микроскоп МИР-2	0,05 мм
	Сравнительный	Штангенциркуль, лупа ЛИ-Э	0,1...0,2 мм
Радиус $R$ при вершине от 0,05 до 0,5 мм	Оптический	Микроскопы БМИ, ММИ	0,1...0,02 мм
	Оптический	Проектор БП, 4П, ЧП-1	0,02...0,05 мм
	Сравнительный	Шаблон	0,05 мм
Угол в плане $\varphi$ от 30 до 90°	Оптический	Микроскопы БМИ, ММИ	1°
	Сравнительный	Угломер УН	1...2°
Угол наклона винтовой канавки $\omega$ от 3 до 30°	Оптический	Микроскоп БМИ	0,5...1°
Угол при вершине сверла $2\varphi$ от 110 до 140°	Сравнительный	Угломер УН	1...2°
		Шаблон	2...3°
Угол наклона режущих кромок многолезвийного инструмента от 5 до 45°	Оптический	Микроскоп БМИ	0,5...1°
Толщина перемычки $a$ сверла от 0,08 до 0,1 мм	Сравнительный	Микрометр с твердосплавными вставками МВТ	0,01...0,02 мм
Ширина зуба $B$ от 0,42 до 3,98 мм	Оптический	Микроскоп БМИ	0,01...0,02 мм
Длина рабочей части от 0,2 до 25 мм	Сравнительный Оптический	Штангенциркуль	0,05...0,10 мм
		Микроскоп БМИ	0,02 мм
Передний угол метчиков $\gamma$	Сравнительный	Прибор ЗПРИ завода «Крин»	1°
Шаг резьбы $P$ от 0,4 до 1 мм	Оптический	Микроскоп БМИ	0,01 мм
Радиус канавок $r$ от 0,1 до 0,3 мм	Оптический	Микроскоп БМИ	0,01...0,02 мм
Величина падения затылка $K$ от 0,22 до 0,65 мм	Оптический	Микроскоп БМИ	0,01...0,02 мм
Прямолнейность режущих кромок в пределах 0,002...0,005 мм	Оптический	Микроскоп БМИ	0,01...0,002 мм
	Сравнительный	Лекальная линейка типа ЛД	0,002...0,003 мм
Радиус округления $\rho$ режущих кромок от 0,003 до 0,005 мм	Световой	Микроскоп БМИ с применением специального приспособления	0,001...0,002 мм
Бисение режущих кромок	Сравнительный	Головка измерительная рычажно-зубчатая ИИГ	0,001...0,002 мм
Параметр шероховатости поверхности $Ra$ , мкм: 1,25...2,5 0,040...0,32 0,32...2,5	Сравнительный Оптический	Образцы шероховатости	—
		Микронинтерферометр МИИ-10	—
	Оптический	Прибор типа ПТС или ПСС	—
Параметр шероховатости поверхности узких ленточек шириной от 0,05 до 0,75 мм	Оптический	Профилограф типа ПГ-10 с примененном специального приспособления	$Ra = 0,32...0,16$ мкм
Микро- и макротрещины	Метод цветных красок Люминесцентный	—	—
		Люминесцентный дефектоскоп ЛД-4	—

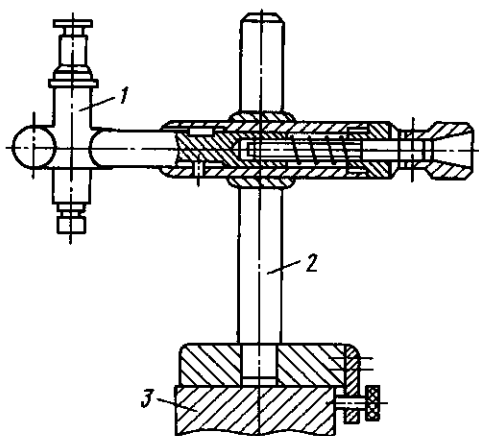


Рис. 3. Стойка с микроскопом МИР-2:  
1 – микроскоп; 2 – стойка; 3 – стол станка

Размер ленточек и фасок доведенного инструмента целесообразно проверять на инструментальных микроскопах БМИ или ММИ. Ширину доведенных ленточек зуба многолезвийного инструмента следует проверять в процессе заточки и доводки на микроскопе МИР-2,

установленном на столе универсально-заточного станка с помощью специальной жесткой стойки, как показано на рис. 3.

Биение режущих кромок проверяют при помощи индикатора часового типа ИЧ с ценой деления 0,01 мм или измерительных головок с ценой деления соответственно 0,001 и 0,002 мм. Прямолинейность режущих кромок инструмента проверяют на инструментальных микроскопах БМИ, ММИ или с помощью лекальной линейки.

Краткая техническая характеристика контрольно-измерительных приборов для различных измерений дана в табл. 13.

**Приборы для контроля углов инструментов.** Применяют прибор модели ПКР для контроля углов призматических резцов, накладной прибор для контроля углов многолезвийного инструмента (фрез, протяжек и других) мод. ЗУРИ и маятниковый угломер мод. ЗУРИ. Техническая характеристика приборов для контроля углов инструмента приведена в табл. 14. Назначение и техническая характеристика специальных приборов для контроля углов многолезвийных инструментов приведены в табл. 15.

### 13. Техническая характеристика контрольно-измерительных приборов

Прибор	ГОСТ	Характеристика
Штангенциркуль ШЦ-I	ГОСТ 166-89 (в ред. 1993 г.)	Пределы измерения 0...125 мм; точность отсчета по нониусу 0,1 мм
» ШЦ-II		
Лекальная линейка типа ЛД	ГОСТ 8026-92	Пределы измерения 0...150 мм; точность отсчета по нониусу 0,05 мм
Микрометры со вставками типа МВТ	ГОСТ 4380-93	Размеры 50 × 22 × 6 мм. Класс точности 0 и 1
Лупа измерительная общего назначения типа ЛИ-3	—	Цена деления 0,01; 0,001 мм; пределы измерения 0...20; 20...45; 45...70 мм и далее через 25 мм до 345 мм
Головки измерительные рычажно-зубчатые типа ИГ и ИГМ	ГОСТ 18833-73 (в ред. 1990 г.)	Увеличение 10 <sup>x</sup>
Индикаторы часового типа ИЧ	ГОСТ 577-68 (в ред. 1988 г.)	Цена деления 0,001; 0,002 мм. Пределы измерения ±0,05; ±0,10 мм
Плоскопараллельные меры длины	ГОСТ 9038-90 (в ред. 1997 г.)	Цена деления 0,01 мм
		Цена деления 0,001 мм

Окончание табл. 13

Прибор	ГОСТ	Характеристика
Малый инструментальный микроскоп типа ИМ 100 × 50, А	ГОСТ 8074-82 (в ред. 1987 г.)	Увеличение 1 <sup>×</sup> , 3 <sup>×</sup> , 5 <sup>×</sup> , 10 <sup>×</sup> , 20 <sup>×</sup> , 40 <sup>×</sup> . Пределы измерения 100 × 50 мм, 360°. Цена деления 0,005; 1 мм
Большой инструментальный микроскоп типа ИМЦЛ-1 160 × 80, Б		Увеличение 1 <sup>×</sup> , 3 <sup>×</sup> , 5 <sup>×</sup> , 10 <sup>×</sup> . Пределы измерения 100 × 80 мм, 360°. Цена деления 0,005; 1 мм
Микроскоп мод. МИР-2	—	Пределы измерения по сетке от 0,015 до 6 мм; увеличение 25 <sup>×</sup> , 9 <sup>×</sup> ; цена деления 0,045 мм (при установке тубуса на 160 мм). Длина тубуса от 130 до 180 мм
Прибор для контроля передней поверхности метчиков мод. ЗПРИ завода «Крин»	—	Диапазон проверяемых углов: передних от 0 до 25°; задних от 0 до 35°. Цена деления 1°
Угломер с нониусом типа 2	ГОСТ 5378-88	Диапазон измерения величин иаружных углов 0...360° внутренних 40...80°; значения отсчета по нониусу 2'
Проектор большой мод. БП	—	Увеличение 10 <sup>×</sup> , 20 <sup>×</sup> , 50 <sup>×</sup> . Диаметр экрана 600 мм
Проектор часового типа мод. ЧП	—	Увеличение 10 <sup>×</sup> , 20 <sup>×</sup> , 50 <sup>×</sup> , 100 <sup>×</sup> . Экран 500 × 460 мм
Проектор часового типа мод. ЧП-1	—	Увеличение 10 <sup>×</sup> , 20 <sup>×</sup> , 50 <sup>×</sup> , 100 <sup>×</sup> , 200 <sup>×</sup> . Экран 480 × 350 мм

## 14. Техническая характеристика приборов для контроля углов инструмента

Параметр	ПКР	2УРН	ЗУРИ
Габаритные размеры контролируемого инструмента, мм:			
длина	До 300	—	—
ширина	10...40	—	—
высота	16...60	—	—
Контролируемые углы	Все углы у резцов	Передний и задний у многолезвийного инструмента	Все углы у многолезвийных инструментов
Пределы измеряемых углов, °:			
передних	0±90	0...25	0...360
задних	0±90	0...35	0...360
Цена деления шкалы, °	1	1	1
Габаритные размеры прибора, мм:			
длина	225	110	102
ширина	220	65	90
высота	195	35	18



## 15. Специальные приборы для контроля многолезвийного инструмента

Наименование прибора	Назначение и характеристика
Прибор для контроля переднего угла метчиков и разверток мод. ЗПРИ (двух типоразмеров)	Для контроля переднего угла ручных, машинных и гаечных метчиков, цилиндрических разверток Габаритные размеры контролируемого инструмента, мм: наружный диаметр 10...52 длина 60...170 Угол наклона канавок инструмента 0...30°; пределы измерения по шкале $\pm 20^\circ$ ; цена деления шкалы 1°
Прибор индикаторный для контроля переднего и заднего углов многолезвийных инструментов при установке их в центрах	Наибольший диаметр контролируемого инструмента 110 мм; наибольшая длина 300 мм; угол конуса 120°; угол наклона зубьев 25°; наименьший окружной шаг зубьев 5 мм; наименьшая длина прямолинейных участков на передней и задней поверхностях зубьев 1 мм
Прибор мод. КО-10 для контроля непрямолинейности образующей конусов Морзе. Семь типоразмеров прибора (для каждого номера конуса)	Для измерения величины непрямолинейности образующей конусов хвостовиков инструментов с конусом Морзе № 0 – 6 4-й и 5-й степеней точности. Цена деления измерительной головки 0,001 мм
Микрометр для измерения диаметров трехлезвийных инструментов мод. МТИ (двух типоразмеров)	Для контроля наружного диаметра трехлезвийных инструментов (зенкеров, концевых фрез и др.). Диапазон диаметров контролируемых инструментов: типоразмер I – М10...М25 типоразмер II – М25...М40 Цена деления 0,01 мм

**Контроль шероховатости поверхности.** Обработанная шлифовальным кругом поверхность имеет микронеровности различной формы и высоты (рис. 4, а). Микронеровностями называют выступы и впадины с небольшими расстояниями (шагом) между ними, возникающие на поверхности. Совокупность неровностей с относительно малыми шагами, образующих рельеф поверхности, представляет собой микрогеометрию или шероховатость поверхности.

В результате действия шлифующих зерен на поверхность обрабатываемого инструмента наносится огромное число микроцарапин, формирующих микропрофиль (рис. 4, б).

Шероховатость поверхности может быть продольной и поперечной с различным направлением следов обработки, которое определяется траекторией относительного перемещения абразивного инструмента. Поперечная шероховатость рассматривается в сечении, перпендикулярном к главному движению шлифовального круга относительно обработанной поверхности, а продольная шероховатость – в параллельном направлении.

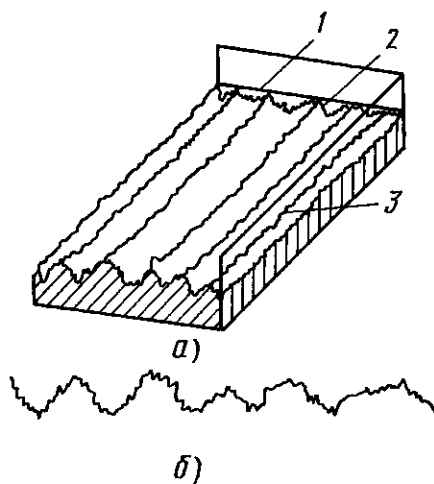


Рис. 4. Профили поверхности тела (в поперечном и продольном сечениях): а – схема расположения сечений; б – профилограмма измеренного профиля в поперечном сечении; 1 – геометрический профиль; 2 и 3 – измеренный профиль соответственно в поперечном и продольном сечениях

На заточенной поверхности микронеровности имеют сравнительно небольшие размеры (от 6 до 0,5 мкм и меньше). Высота микронеровностей доведенных и полированных поверхностей еще меньше, обычно 0,05...0,08 мкм.

Числовые значения параметров шероховатости  $Ra$  и  $Rz$  при нормированных базовых длинах указаны в табл. 16.

Микронеровности на режущей кромке в условном радиусе округления инструмента проявляются после заточки в виде выкрашивания и зазубренности (рис. 5). Выкрашивание кромки определяют в плоскости задней поверхности.

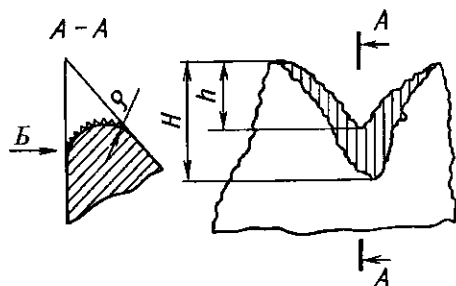


Рис. 5. Схема микропрофиля режущей кромки:  $H$  – выкрашивание;  $h$  – зазубренность;  $p$  – радиус округления режущей кромки;  $B$  – направление наблюдения

### 16. Параметры шероховатости

Параметры шероховатости, мкм		Базовая длина $l$ , мм	Параметры шероховатости, мкм		Базовая длина $l$ , мм
$Ra$	$Rz$		$Ra$	$Rz$	
80	320...160	8,0	0,20...0,16	—	0,25
40	160...80		0,16...0,125	—	
20	80...40		0,125...0,100	—	
10	40...20	2,5	0,100...0,080	—	
5	20...10		0,080...0,063	—	
2,5...2,0	—	0,8	0,063...0,050	—	
2,0...1,6	—		0,050...0,040	—	
1,6...1,25	—		0,040...0,032	—	
1,25...1,00	—		0,032...0,025	—	
1,00...0,80	—		От 0,025 до 0,020	—	
0,80...0,63	—		0,25	—	0,100...0,080
0,63...0,50	—	—		0,080...0,063	
0,50...0,40	—	—		0,063...0,050	
0,40...0,32	—	—		0,050...0,040	
0,32...0,25	—	—		0,040...0,032	
0,25...0,20	—	0,25	—	0,032...0,025	0,08

Под зазубренностью понимают выкрашивание режущей кромки по передней поверхности в проекции на заднюю поверхность. При замере шероховатости режущих кромок на инструменте вместо алмазной нглы используют специальные алмазные лопаточки.

Шероховатость передней и задней поверхностей режущего инструмента оказывает существенное влияние на процесс резания, характер отвода стружки, на величину коэффициента трения между передней поверхностью и стружкой, между задней поверхностью и обрабатываемой заготовкой (поверхностью резания).

С уменьшением шероховатости рабочих поверхностей инструмента снижается коэффициент трения и увеличивается число контактных (с поверхностью резания и сходящей стружкой) точек, что способствует снижению интенсивности начального износа, увеличению прочности его режущих кромок.

Для контроля шероховатости поверхности режущего инструмента используют приборы и методы, применяемые в общем машиностроении. Краткая техническая характеристика приборов для измерения шероховатости поверхности приведена в табл. 17.

## 17. Техническая характеристика приборов для измерения шероховатости поверхности

Наименование	ГОСТ	Характеристика
Образцы шероховатости поверхности (сравнение)	ГОСТ 9378-93	$Ra$ от 0,050 мкм до 25 мкм
Микроинтерферометр типа МИИ-10	ГОСТ 9847-79	Для иммерсионно-репликового и непосредственного измерения $Ra = 0,01...0,160$ мкм; чувствительность метода 0,015 мкм Увеличение 500 <sup>x</sup> , 700 <sup>x</sup> . Поле зрения 0,32; 0,20 мм
Прибор теневого сечения ПТС-1		$Rz = 40...320$ мкм
Прибор светового сечения модели ПСС-2 (взамен микроскопа МИС-11)		$Rz = 0,5...40$ мкм Увеличение 60...750 <sup>x</sup> . Поле зрения 0,25...2,5 мм
Профиллограф модели ПГ-10	ГОСТ 19300-86 (в ред. 1992 г.)	$Ra = 0,04...5$ мкм для шкальных приборов и до $Ra = 0,01$ мкм для самопишущих. Вертикальное увеличение 200 <sup>x</sup> ...10 000 <sup>x</sup> , горизонтальное увеличение 20 <sup>x</sup> ...1000 <sup>x</sup> , шаг отсечки 0,08; 0,25; 0,80 и 2,50 мм
Профиллограф-профилометр блочной конструкции мод. 201 завода "Калибр"		Для измерения параметров шероховатости и волнистости поверхности. $Ra = 0,04...10$ мкм. Запись профиля 0,01...5,0 по ГОСТ 2789-73 (в ред. 1981 г.)
Профиллограф-профилометр мод. 201 и 202 с приставкой		Для измерения шероховатости поверхности $Ra$ и $Rz$ по ГОСТ 2789-73 (в ред. 1981 г.)
Цеховой профилометр мод. 240 завода "Калибр"		
Профиллометр-профиллограф мод. 252 завода «Калибр»	ГОСТ 19300-86 (в ред. 1992 г.)	Измерение параметров шероховатости поверхности $Ra$ и $Rz$ по ГОСТ 2789-73 (в ред. 1981 г.)
Двойной микроскоп МИС-11 (конструкции Линника)	—	Лабораторный контроль параметра шероховатости поверхности $Ra = 0,016...0,16$ мкм

Малые размеры заточенных и доведенных поверхностей на инструменте, их сложная геометрическая форма и неудобное расположение контролируемых поверхностей (например, на спиральном сверле) затрудняют контроль шероховатости на обычных приборах. В этом случае для измерений шероховатости поверхности различных инструментов применяют специальные приспособления.

Качество поверхности режущих лезвий до  $Ra = 0,32...0,63$  мкм целесообразно проверять

путем сравнения с образцами шероховатости поверхности, а в пределах  $Ra = 0,040...0,160$  мкм — на микроинтерферометре типа МИИ-10.

Контролируемую поверхность перед измерением необходимо тщательно очистить. Поверхность режущего инструмента, обработанную в пределах  $Ra = 0,040...0,080$  мкм и ниже, проверяют на профиллограф-профилометрах по величине  $Rz$  с записью профиллограмм самописцем прибора.

Радиус при вершине инструмента от 0,2 до 0,5 мм контролируют при увеличении 10...30<sup>x</sup> на инструментальных микроскопах БМИ, ММИ или проекторах типа БП, ЧП и др.

**Методы обнаружения трещин на твердосплавном инструменте.** Применяют два метода обнаружения трещин: осмотр поверхности невооруженным глазом и с помощью микроскопа. Для анализа на трещины поверхность инструмента подвергают небольшой доводке или полировке. К приемам, дополняющим метод осмотра поверхности невооруженным глазом, относятся: смачивание поверхности бензином; применение краски; люминесцентное свечение; химическое травление. К приемам, дополняющим микроскопический метод, относятся применение различных увеличительных приборов, начиная от лупы с 20-кратным увеличением и кончая электронным микроскопом с увеличением в несколько тысяч раз.

При обнаружении трещин невооруженным глазом вся партия инструмента, в которой они обнаружены, должна быть забракована. Этот метод контроля можно облегчить, если смочить поверхность изделия бензином. Смооченная бензином поверхность быстро высыхает, а бензин, задерживаясь в трещинах, обрисовывает их контуры темными линиями на светло-сером фоне поверхности инструмента до тех пор, пока весь не испарится.

**Цветная дефектоскопия** (метод цветных красок) твердосплавных режущих инструментов получила в промышленности наибольшее распространение при цеховом контроле. На проверяемую поверхность инструмента наносят слой красной краски, которая за 15 мин успевает проникнуть в трещины и не вымывается из них при последующей промывке; затем на сухую поверхность инструмента наносят второй раствор – слой белой краски – и быстро высушивают. Через 4...5 мин на белом фоне поверхности в местах трещины выступают красные полосы, видимые невооруженным глазом.

**Состав красителей.** Рецепт 1. Красная краска: 200 мл скипидара; 800 мл керосина; 10 г краски судан-3 (краску растворяют в скипидаре, а потом добавляют керосин). Раствор прогревают в колбе 20 мин на водяной бане и фильтруют. Белая краска: 1 л воды или керосина; 300...400 г каолина в порошке.

Рецепт 2. Красная краска: 95 мл бензола; 5 мл авиационного масла МК-22; 1 г краски судан-4 (краску растворяют в масле, затем добавляют бензол). Белая краска: 70 мл коллодия; 10 мл ацетона; 20 мл бензола; 5 г цинковых белил (густотертых). Жидкость взводится ацетоном до густоты сливок.

**Последовательность обработки инструмента** обезжиривание (керосином, бензином, ацетоном и др.); высушивание в струе воздуха; нанесение красной краски – кистью или погружением; промывка проточной водой и натирание кальцинированной содой; высушивание фильтровальной бумагой или ветошью; нанесение белой краски тонким слоем кистью, пульверизатором или лоскутом ворсовой ткани; высушивание в струе теплого воздуха.

**Люминесцентный метод** основан на способности свечения люминофоров под действием ультрафиолетового облучения. Для контроля этим методом рекомендуется использовать люминесцентный дефектоскоп ЛД-4.

На поверхность изделия наносят люминесцирующее вещество, которое проникает в полость дефектов и остается в нем, а излишнее количество его удаляется с поверхности струей воды. Затем поверхность припудривают абсорбционным веществом, которое способствует удалению люминофора из дефектов.

В качестве люминофора применяют смесь из 25 % авиационного масла и 75 % керосина в нагретом состоянии (60...80 °С). В качестве абсорбционного вещества применяют тальк, окись магния и др.

**Последовательность обработки изделия:** обезжиривание очищенным бензином; сушка на воздухе в течение 3...5 мин; погружение в люминофор на 5...10 мин; промывка в горячем 5 %-ном водном растворе кальцинированной соды; высушивание ветошью или струей воздуха; присыпание изделия тальком на 3 мин; просмотр трещин при свете от ультрафиолетовой лампы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кашук В.А., Малехин Д.А., Бармин Б.П. Справочник заточника. М.: Машиностроение, 1982. 232 с.

2. Попов С.А. Заточка и доводка режущих инструментов. М.: Высш. шк., 1981. 200 с.

## ЧИСТОВАЯ И ОТДЕЛОЧНАЯ ОБРАБОТКА

С помощью чистой обработки получают (и затем эти качества поверхностей длительно сохраняются в процессе эксплуатации) детали с требуемой точностью размеров и формы поверхностей (отклонение формы составляет 0,05...0,5 мкм для прецизионных деталей и 1...2 мкм для деталей точного машиностроения и приборостроения).

Абразивная отделочная обработка характеризуется параметрами шероховатости обработанных поверхностей от  $Ra = 0,16...0,32$  мкм до  $Rz = 0,025...0,05$  мкм.

Прецизионная обработка одновременно с требуемым шероховатостью поверхности и качеством поверхностного слоя обеспечивает высокую точность размеров и формы.

### ЛЕЗВИЙНАЯ ОТДЕЛОЧНАЯ ОБРАБОТКА

#### ТОНКОЕ АЛМАЗНОЕ ТОЧЕНИЕ И РАСТАЧИВАНИЕ

При тонком точении и растачивании алмазными резацами обеспечивается точность размеров по 6-му качеству и соответствующие этому качеству точность формы (оваль-

ность, огранка и конусообразность до 5 мкм) и параметр шероховатость поверхности  $Rz = 0,05...0,1$  мкм.

Применение природных алмазов вместо твердого сплава позволило повысить период стойкости резцов: токарных проходных – в 160 раз, расточных – в 60 раз. Используют также однокристалльные резцы из синтетических поликристаллических алмазов АСБ (баллас) или АСПК (карбонадо). Поликристаллы карбонадо применяют двух марок: АСПК-2 и АСПК-3.

Для обработки заготовок из стали, чугуна и сплавов на основе железа разработаны синтетические сверхтвердые материалы из микропорошков кубического нитрида бора – композиты марок 01 (эльбор-Р), 05, 10 (гексанит-Р) и 10Д (двухслойные пластины с рабочим слоем из гексанита-Р).

Режимы обработки и шероховатость поверхностей после тонкого точения и растачивания даны в табл. 1.

Технологические режимы и возможности точения инструментами из сверхтвердых материалов проявляются при производстве деталей двигателей (табл. 2).

#### 1. Режимы резания и шероховатость поверхностей после обработки резацами из природных алмазов, карбонадо, эльбора-Р, композита 05 и гексанита-Р

Обрабатываемый материал	Припуск на обработку, мм, или вид обработки	Марка материала инструмента	Режим резания			Параметр шероховатости поверхности $Ra$ , мкм
			Скорость резания $v$ , м/мин	Подача $S$ , мм/об	Глубина резания $t$ , мм	
Алюминий и алюминиевые сплавы	0,05...0,3	Природный алмаз А	250...700	0,01...0,05	0,03...0,3	0,02...0,08
	0,2...1,0	Карбонадо	300...700	0,02...0,07	0,2...1,0	0,25...1,0
Медь и медные сплавы	0,05...0,3	Природный алмаз А	250...700	0,01...0,07	0,05...0,4	0,02...0,08
	0,2...0,8	Карбонадо	300...400	0,02...0,07	0,2...0,8	0,25...1,0
Титановые сплавы	0,05...0,3	Природный алмаз А	100...300	0,02...0,05	0,03...0,06	0,32...1,0
	0,1...0,5	Карбонадо	80...100	0,02...0,07	0,1...0,2	0,32...1,0
Полуспеченная керамика	0,2...0,5	Карбонадо	150...200	0,02...0,07	0,2...0,5	1,0...2,0

Окончание табл. 1

Обрабатываемый материал	Припуск на обработку, мм, или вид обработки	Марка материала инструмента	Режим резания			Параметр шероховатости поверхности $Ra$ , мкм
			Скорость резания $v$ , м/мин	Подача $S$ , мм/об	Глубина резания $t$ , мм	
Стеклопластик и другие пластмассы	0,2...1,5	Природный алмаз А	600...700	0,02...0,05	0,03...0,05	1,6...2,5
	0,5...1,5	Карбоиадо	400...500	0,02...0,07	0,5...1,5	2,0...5,0
Закаленная сталь с HRC: 40...60	Получистовая	Композит 05; гексанит-Р	40...100	0,1...0,2	0,8...2,0	1,0...2,0
	Чистовая	Эльбор-Р; композит 0,5; гексанит-Р	50...120	0,04...0,08	0,3...1,0	0,5...1,0
	Тонкая	Эльбор-Р; гексанит-Р	60...160	0,005...0,02	0,05...0,2	0,125...0,25
50...68	Чистовая	Эльбор-Р; гексанит-Р	40...120	0,03...0,07	0,2...0,8	0,5...1,0
	Тонкая	Эльбор-Р; гексанит-Р	50...110	0,005...0,02	0,05...0,1	0,125...0,25
Серые и высокопрочные чугуны; 150...270 HB	Получистовая	Композит 05; гексанит-Р	300...600	0,1...0,3	0,8...3	2,0...10
	Чистовая	Эльбор-Р; композит 05; гексанит-Р	300...900	0,02...0,08	0,2...0,6	0,5...2,0
Твердые сплавы BK15, BK20, BK25; 88...90 HRA	0,1...0,2; чистовая (без удара)	Карбоиадо;	15...40	0,02...0,07	0,1...0,15	0,25...1,0
		гексанит-Р	5...10	0,04...0,08	0,4...0,8	0,5...1,0
	Тонкая (без удара)	Эльбор-Р; гексанит-Р	8...12	0,002...0,005	0,05...0,1	0,2...0,5

Примечания: 1. Допустимый износ (мм) резцов по задней поверхности  $h_3$ : из природных алмазов марки А – 0,1, из синтетических поликристаллических алмазов марок АСБ и АСПК – 0,2.

2. Большие значения диапазонов скоростей резания, подачи и глубин резания при обработке резцами из композита марок 01, 05 и 10 назначают при обработке без ударов, меньшие – при обработке с ударами.

3. Глубина резания при обработке прерывистых поверхностей не более 0,02...0,03 мм.

4. Отклонение формы поверхностей составляет 0,002...0,005 мм, глубина поверхностного нарушенного обработкой слоя 0,01...0,05 мм.

## 2. Режимы обработки, стойкость инструмента, шероховатость поверхности при лезвийной обработке деталей резцами из различных инструментальных материалов

Деталь	Материал детали	Вид обработки	Материал резца	Режим резания			Стойкость инструмента, шт.	Параметр шероховатости поверхности $Ra$ , мкм
				$v$ , м/с	$S$ , мм/об	$t$ , мм		
Поршень	Специальный алюминиевый сплав; 90...110 HB	Расширение	Природный алмаз	3,9	0,09	0,1	2500	0,63...0,5
							1800	
Толкатель	Бронза БрОЦС4-4-2,5; 70...60 HB	Расширение	Карбоиадо	3,5	0,06	0,2	17 500...25 000	1,0...0,8
			ВКЗМ				350	1,6...1,25

Окончание табл. 2

Деталь	Материал детали	Вид обработки	Материал реза	Режим резания			Стойкость инструмента, шт.	Параметр шероховатости поверхности $Ra$ , мкм
				$v$ , м/с	$S$ , мм/об	$t$ , мм		
Шестерня	Цементованная сталь 15XГН2ТА; 59...63 HRC	Подрезание торца	Эльбор-Р	1,5	0,07	0,4	30	0,63...0,5
Седло клапана	Специальный чугун; 46...52 HRC	Обтачивание фаски	Эльбор-Р	1,0	0,04	0,25	240	1,0...0,8
			ВКЗМ			0,2	30	
Блок цилиндров	Чугун; 184...241 НВ	Раствачивание	Эльбор-Р	5,0	0,05	0,4	30	1,6...0,8
			ВКЗМ				3	2,5...2,0
Поршень	Специальный чугун; 207...255 НВ	Продольное точение	Эльбор-Р	12,5	0,07	0,3	75	1,25...0,63
			ЦМ332				23	

Примечание. Резцы из природных монокристаллических алмазов обеспечивают лучшее качество обработанной поверхности по сравнению с резцами из карбонадо.

### ТОНКОЕ ФРЕЗЕРОВАНИЕ

Тонкое фрезерование проводят "летучими фрезами" для обработки плоских поверхностей заготовок. Летучая фреза состоит из корпуса и закрепленных в нем резцов. В зависимости от ширины фрезерования  $B$  летучие фрезы изготовляют диаметром 60...300 мм с двумя-тремя резцами. Припуск на обработку распределяется между резцами равномерно по принципу деления глубины резания, причем припуск на чистовую обработку не должен превышать 0,1 мм.

При обработке сталей и чугунов применяют фрезы с резцами, оснащенными вставками из сверхтвердых материалов (комполнта или карбонадо); при обработке цветных металлов и

сплавов – фрезы, оснащенные резцами из твердого сплава (типа ВК) и вставками: алмазными или из сверхтвердых материалов – поликристаллических алмазов – карбонадо (АСПК) или композита марок 01, 05, 10, 10Д.

Режим резания при фрезеровании назначают в зависимости от обрабатываемого материала и марки композита: скорость резания  $v = 40...3000$  м/мин; подача на зуб  $S_z = 0,005...0,05$  мм; глубина резания  $t = 0,05...0,5$  мм.

В табл. 3 приведены рекомендуемые режимы резания при торцовом фрезеровании инструментами из сверхтвердых материалов, в табл. 4 – технические характеристики фрезерного оборудования для эффективного применения инструмента из сверхтвердых материалов (СТМ).

### 3. Рекомендуемые режимы торцового фрезерования инструментами из сверхтвердых материалов

Обрабатываемый материал	Марка комполнта	Режим резания		
		$v$ , м/мин	$S_z$ , мм	$t$ , мм
Стали 30 HRC (не более)	10; 10Д; 01	400...900	0,005...0,05	0,05...0,5
Стали закаленные с HRC:	10Д; 01; 10	200...600	0,005...0,05	0,05...0,4
		40...300	0,005...0,03	0,05...0,3
Чугуны:	05; 10Д; 10; 01	1000...3000	0,005...0,05	0,05...0,5
		200...800	0,005...0,03	0,05...0,2

Примечание. Параметр шероховатости обработанных поверхностей  $Ra = 0,63...2,5$  мкм; меньшие значения соответствуют меньшим значениям подачи на зуб и глубины резания.

## 4. Рекомендуемые фрезерные стайки для эффективного применения инструментов из сверхтвердых материалов

Типы станков	Диаметры фрез, мм	Частота вращения шпинделя, об/мин	Продольная подача, мм/мин	Суммарная жесткость, кН/мм	Допуск параллельности обработанной поверхности, мкм, на длине измерения, мм			Допуск перпендикулярности обработанной поверхности, мкм, на длине измерения, мм		
					До 400	Св. 400 до 630	Св. 630 до 1000	До 200	Св. 200 до 300	Св. 300 до 500
Вертикальные консольно-фрезерные (ширина стола 320...400 мм)	125...250	400...5000 3000...15 000	50...2500	60	12	16	-	12	-	-
			300...10 000							
Вертикально-фрезерные с крестовым столом (ширина стола 400...1000 мм)	125...315	400...5000 3000...15 000	400...4000	60	10	12	16	12	16	-
			300...10 000							
Продольно-фрезерные при ширине стола, мм:	200...400	200...4000 2000...10 000	400...4000	115	8	10	12	12	20	30
			300...10 000							
500...1000	250...400	160...3150 2000...10 000		165	8	10	12	12	20	30
более 1000	250...400	315...1000 1000...4000	На диаметре стола	-	10	12	-	-	-	-
Карусельно-фрезерные (диаметр стола 1000...2000 мм) для шпинделя: червякового	160...200	800...2500 2500...10 000	100...4000	-	-	-	-	-	-	-
			300...8000							
чистового	250...400	630...2000 2000...8000		-	-	-	-	-	-	-
	160...200	1600...5000 2500...15 000		-	-	-	-	-	-	-

Примечание. В числителе — данные для обработки чугунов фрезами из композита, в знаменателе — для обработки алюминиевых сплавов алмазным инструментом.



### АЛМАЗНОЕ ВЫГЛАЖИВАНИЕ

Алмазное выглаживание выполняют после операций точения или шлифования для снижения шероховатости поверхности, создания однородного, пластически упрочненного поверхностного слоя с остаточными напряжениями сжатия и не шаржированного твердыми включениями. Коэффициенты упрочнения поверхностного слоя различных материалов приведены в табл. 5. Опорная способность поверхности детали после выглаживания в 2...4 раза больше, чем после суперфиниширования, шлифования или полирования.

Волнистость поверхности после алмазного выглаживания снижается в 2...4 раза при

исходной высоте волн не более 0,003 мм и шаге волнистости не более 3 мм. Размеры деталей после выглаживания изменяются незначительно: 0,001...0,003 мм на диаметр.

Глубина упрочненного слоя и шероховатость поверхности зависят от силы выглаживания  $P_y$ , радиуса  $R_{\text{алм}}$  рабочей части выглаживателя и режима обработки (табл. 6). Наибольшее упрочнение достигается при  $P_y = 100...200$  Н.

Наибольший период стойкости при выглаживании стальных заготовок имеют выглаживатели из природных алмазов с огранкой по цилиндру; несколько меньший период стойкости – с огранкой по сфере.

#### 5. Параметры алмазного выглаживания

Материалы	Микро- твердость обрабаты- ваемой детали, ГПа	Козф- фициент упроч- нения $C_1$	Шероховатость поверхности, мкм		Режим обработки	
			до выгла- живания	после вы- глаживания	$S_z$ , мм/об	$R_{\text{алм}}$ , мм
Сталь 30	1,60	1,9	5,0...1,2	0,6...0,16	0,05...0,07	2,0...3,0
Сталь X18H2AG5	2,40	2,5	2,5...0,7	0,3...0,04		1,2...2,0
Сталь X18H9T	2,00	2,2	5,0...0,7	0,6...0,04	0,05...0,1	1,2...2,5
Сталь 13X12HBMФА	2,30	1,74	2,5...0,7	0,3...0,04		0,05...0,07
Сталь 12ХНЗА	1,80	1,5		0,3...0,08		
Сталь 38ХМЮА (азотированная)	10,00	1,18	1,2...0,16	0,08...0,02	0,05	1,5...2,0
Сталь 20 (цементированная)	8,00					
Закаленные стали 35...68 HRC	—					
Латушь ЛС 59-1	1,70	1,22	0,5...0,7	0,3...0,02	0,05...0,07	3,0...3,5
Бронза Бр АЖ-9-4	2,40	1,41	0,5...1,2			
Инвар И33	2,10	1,37	2,5...0,7	0,3...0,04	0,05...0,07	3,0...3,5
Сплав АМГ-7	1,05	2,18				
Сплав АК6	1,70	1,15				
Сплав В95-Т1	1,80	1,13	1,2...0,16	0,3...0,02	0,05	1,5...2,0
Сплав Д16Т	—					
Хромовое покрытие	Св. 8,00	1,12	2,5...0,7	0,3...0,08	0,05...0,07	3,5
Кадмиевое покрытие	0,30	1,8		0,3...0,04		
Серебряное покрытие	1,10	1,5	2,5...0,7	0,6...0,08	0,05...0,07	2,0...2,5
Никелевое (гальваническое) покрытие	1,50	1,3				
Никелевое (химическое) покрытие	2,30... 3,00	1,15	2,5...0,16	0,3...0,04	0,05	1,5...2,0
Никелевое (химическое) термообработанное покрытие	8,00... 10,00	1,1	1,2...0,16	0,3...0,02		
Стальное покрытие	3,00... 6,00	1,2	1,2...0,16	0,3...0,02		

## 6. Режимы обработки и шероховатость поверхности после выглаживания

Деталь	Материал детали	Характеристика выглаживателя	Режим выглаживания			Параметр шероховатости поверхности $R_a$ , мкм	
			$v$ , м/с	$S$ , мм/об	сила прижима $P_z$ , Н	до обработки	после обработки
Валик ротора турбокомпрессора (шейка $\varnothing 21_{-0,009}$ мм)	Сталь 45, 59...64 HRC	Природный алмаз массой 0,12...0,16 г; огранка по цилиндру: $R_d = 1$ мм, $l = 3$ мм	1,1		196	0,5 (после шлифования)	0,25...0,16
Фланец крепления карданного вала (шейка $\varnothing 70_{-0,12}$ мм)	Сталь 45, 192...241 НВ	Природный алмаз массой 0,32 г; огранка по цилиндру: $R_d = 1$ мм, $l = 3$ мм	2,25	0,07	147	1,25 (после шлифования)	0,63...0,5
Гаситель крутильных колебаний (шейка $\varnothing 178_{-0,04}$ мм)	Сталь 40, 169...203 НВ	Синтетический алмаз (карбонадо); огранка по сфере: $R_{сф} = 3$ мм	0,92		147	4,0	0,63

АБРАЗИВНАЯ ОТДЕЛОЧНАЯ  
ОБРАБОТКА

## ТОНКОЕ ШЛИФОВАНИЕ

Тонким шлифованием исправляют форму исходной заготовки (отклонение формы цилиндрических поверхностей не превышает 5 мкм) и получают поверхности с параметром шероховатости  $R_a = 0,010...0,160$  мкм. Тонкое шлифование (табл. 7) является заключительной операцией обработки заготовки на шлифовальных станках.

## СУПЕРФИНИШИРОВАНИЕ

Суперфиниширование — процесс обработки наружных цилиндрических, конических, плоских и фасонных поверхностей мелкозернистыми абразивными и алмазными брусками на универсальных и специализированных суперфинишных станках до получения параметра шероховатости поверхности  $R_a = 0,010...0,320$  мкм.

Микротвердость поверхности закаленных стальных деталей после суперфиниширования повышается на 10...15 %, а термически необработанных деталей — на 30...40 %. Износостойкость поверхности шеек валов из закаленной стали после суперфиниширования увеличивается на 10...20 %, так как удаляется поверхностный слой глубиной 40...50 мкм, содержащий дефекты, приобретенные при шлифовании. Рвличают суперфиниширование: с упругим прижимом бруска к детали и супер-

финиширование с жестким замыканием контакта бруска — деталь (микрофиниширование).

Современные схемы суперфиниширования и микрофиниширования, а также соответствующие им технологические возможности показаны на рис. 1 и 2 (с разрешения фирмы THIELENHAUS).

Режимы и параметры качества обработанной поверхности при суперфинишировании приведены в табл. 7 и 8.

При обработке заготовок из закаленной стали применяют бруски из белого электрокорунда 24А, 25А и зеленого карбида кремния 63С, 64С. Обработку чугуна и цветных металлов осуществляют брусками из зеленого карбида кремния. Зеркальную поверхность с шероховатостью  $R_a = 0,02...0,16$  мкм получают брусками на бакелитовой связке с графитовым наполнителем.

Твердые и хрупкие материалы обрабатывают брусками твердостью СМ1—С2, мягкие стали — брусками твердостью М2—СМ1.

Суперфиниширование заготовок из цветных металлов и сплавов осуществляют за две операции: предварительную — брусками твердостью М2 и М3, окончательную — брусками твердостью С1 и С2. Перед обработкой бруски прирабатывают к поверхности детали с помощью шлифовальной ленты зернистостью 16—25. Применяют абразивных брусков из эльбора на керамической связке С10 зернистостью М20—М40 и твердостью С2—СТ1 вместо брусков из зеленого карбида кремния 63С

7. Параметры качества поверхностей после тонкого шлифования, хонингования, суперфиниширования и абразивной доводки

Обработка	Припуск на диаметр, мм	Инструмент	Режим резания: скорость $v$ , подача $S$ , глубина резания $t$	Давление $P$ , кПа	Параметры обработанной поверхности		
					Погрешность формы, мм	Параметр шероховатости* поверхности, мкм	Глубина нарушенного поверхностного слоя $h_s$ , мм
Тонкое шлифование	0,04...0,10	Круги абразивные (класса точности AA зернистостью 12—M14) и алмазные (зернистостью 40/28 — 5/3)	$t = 0,005 \dots 0,025$ мм; $v_{\text{зр}} = 15 \dots 25$ м/с; $v_{\text{заг}} = 10 \dots 50$ м/мин; $S_{\text{рад}} = 0,005 \dots 0,01$ мм/дв. ход; $S_{\text{гр}} = 0,3 \dots 0,5$ м/мин (круглое шлифование); $S_{\text{гр}} = 1 \dots 2$ м/мин (плоское шлифование)	—	$0,03 \dots 0,05$ $0,003 \dots 0,01$	$Ra = 0,63 \dots 2,5$ $Ra = 0,08 \dots 0,32$	0,005...0,030
Хонингование	0,05...0,3 (черновое)  0,005...0,04 (получистовое, чистовое)	Бруски: абразивные зернистостью 16—6 (черновое) и 5—M5 (получистовое и чистовое); алмазные зернистостью 250/200—63/50 (черновое) и 80/63—20/14 (чистовое)	$V_{\text{обр}} = 20 \dots 80$ м/мин; $v_{\text{лост}} = 3 \dots 22$ м/мин; $S = 0,4 \dots 3$ мкм/дв. ход	Черновое хонингование брусками; абразивными 400... 800 и алмазными 800...1500; чистовое хонингование 200...400	За три операции: $0,5 \dots 0,09$ $0,003 \dots 0,004$	За три операции: $Rz = 10 \dots 40$ $Ra = 0,08 \dots 0,32$	0,005...0,020
					за две операции: $0,006 \dots 0,015$ $0,001 \dots 0,003$	за две операции: $Ra = 0,63 \dots 2,5$ $Ra = 0,08 \dots 0,32$	

Окончание табл. 7

Обработка	Припуск на диаметр, мм	Инструмент	Режим резания: скорость $v$ , подача $S$ , глубина резания $t$	Давление $p$ , кПа	Параметры обработанной поверхности		
					Погрешность формы, мм	Параметр шероховатости* поверхности, мкм	Глубина нарушенного поверхностного слоя $h$ , мм
Суперфиниширование	0,025...0,01 (черное); 0,003...0,008 (чистовое)	Бруски: абразивные зернистостью 8-5 (черное) и М40-М5 (чистовое); алмазные зернистостью 100/80 - 63/50 (черное) и 40/28-20/14 (чистовое)	Бруски: колебания 400...3000 дв.ход/мин с амплитудой 2...5 мм: $v_{пр} = 2...20$ м/мин; заготовочка: $v_{отр} = 10...80$ м/мин	100...500	Исходная - час-точно исправляется при упрямом поджиме бруска к детали; 0,003...0,005 0,0005...0,001 (при размерном суперфинишировании)	$Rz = 10...20$ $Ra = 0,63...1,25$ $Ra = 0,32...1,25$ $Ra = 0,08...0,16$ $Ra = 0,08...0,32$ $Ra = 0,02...0,08$	0,005...0,020
Доводка: незакрепленными абразивными зернами притиром, шаржированным абразивными зернами	0,001...0,05  0,0005...0,005	Абразивная (алмазная) паста, суспензия зернистостью 5-М14 (60/40-14/10) для черновой доводки: М10-М1 (10/7-2/1) для чистовой зернистость абразива: М7-М1	$v = 0,08...6$ м/с  $v = 0,08...7$ м/с	20...400  100...200	0,0002...0,005  0,0001...0,001	$Ra = 0,040...0,32$  От $Ra = 0,020...0,080$ до $Rz = 0,025...0,040$	0,003...0,010

\* В числителе дробей - значение параметра до обработки поверхности, в знаменателе - после обработки.

- Примечания: 1. В интервалах большие значения отклонений формы, шероховатости поверхности и глубины нарушенного поверхностного слоя соответствуют большему значению зернистости применяемого абразивного материала, давления и исходного отклонения формы обрабатываемой поверхности и ее шероховатости.
2. Приведенные значения параметров качества поверхности ориентировочны; назначены с учетом рациональных характеристик и подготовки инструментов, составов СОЖ, а также того, что обработка осуществляется за две-три операции (перехода) - черновую, получистовую и чистовую обработку.
3. Достижимая точность обработанных поверхностей при тонком шлифовании и суперфинишировании соответствует 5,6-му качеству, при хонинговании - 6,7-му, при доводке - 3-6-му.
4. При односторонней доводке, суперфинишировании и тонком шлифовании плоских поверхностей значения припуска уменьшают в 2 раза.
5. Рекомендации даны для абразивных брусков и кругов на керамической и органической (для чистовой обработки) связках; алмазные - на металлических связках.

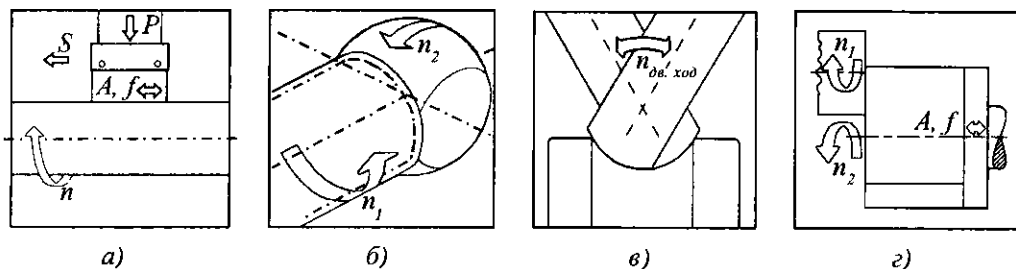
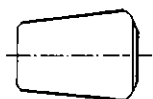


Рис. 1. Основные схемы микрофиниширования:

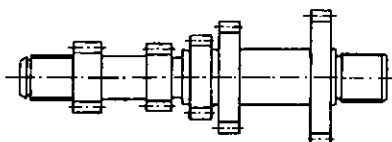
а – линейные осциллирующие колебания при обработке цилиндрических или конических поверхностей; б – вращающиеся инструменты при плоских, сферических, выпуклых или вогнутых деталях; в – угловые осцилляции при обработке дорожек качения подшипников и других вогнутых профилей; г – плоская обработка патронных деталей;  $S$  – подача;  $P$  – сила прижима;  $A, f$  – амплитуда и частота колебаний;  $n$  – частота вращения

Боковая поверхность конического ролика



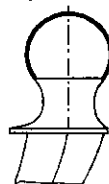
$O = 0,5$  мкм;  
 $Ra = 0,02$  мкм;  
Время цикла = 3 сек.

Опорные шейки передаточного вала



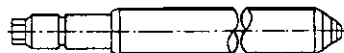
$O = 2$  мкм;  $Ra = 0,08$  мкм;  
Время цикла = 22 сек.

Сферическая скользящая поверхность тазобедренного сустава



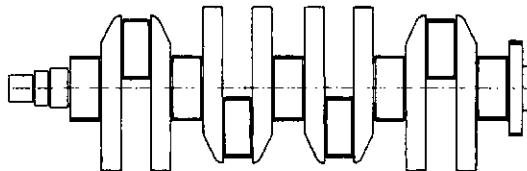
$O = 2$  мкм;  
 $Ra = 0,02$  мкм;  
Время обработки = 6 мин.

Поршневой шток амортизатора



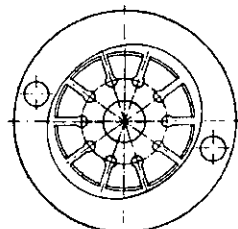
$O = 1$  мкм;  $\sigma = 3$  мкм;  $Ra = 0,08$  мкм;  
Время прогона = 6 мин

Коленчатый вал легкового автомобиля



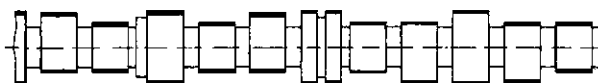
$O = 2$  мкм;  $Ra = 12$  мкм; Время цикла = 45 сек.

Торцевые плоскости ротора и криволинейного кольца



$\square = 1,5$  мкм;  
 $/// = 2$  мкм;  
 $Ra = 0,1$  мкм;  
Время цикла = 18 сек.

Распределительный вал грузового автомобиля



$O = 2$  мкм;  $Ra = 0,08$  мкм; Время цикла = 45 сек.

Рис. 2. Технологические возможности микрофиниширования

позволяет повысить производительность обработки в 2 раза (при окружной скорости 90...120 м/мин, частоте колебаний брусков 800 дв. ход/мин и амплитуде колебаний 15 мм) и снизить параметр шероховатости поверхности до  $Ra = 0,16...0,25$  мкм. Процесс ведется с

применением СОЖ малой вязкости (керосина, или керосина с добавкой 10...15 % веретенного масла, или масла индустриального И-20А с добавкой 2...4 % олеиновой кислоты), обеспечивающей очистку абразивных брусков от отходов и их охлаждение.

### 8. Зернистость абразивных брусков для суперфиниширования в зависимости от требуемой шероховатости поверхности деталей

Исходный параметр шероховатости поверхности заготовки $Ra$ , мкм	Требуемый параметр шероховатости поверхности, мкм									
	$Ra = 0,32...0,16$		$Ra = 0,16...0,08$		$Ra = 0,08...0,04$		$Ra = 0,04...0,02$		$Ra = 0,02...0,01$	
	Число переходов	Зернистость	Число переходов	Зернистость	Число переходов	Зернистость	Число переходов	Зернистость	Число переходов	Зернистость
1,25...0,63	1	M28 M20	1	M20 M14	1	M20 M7	—	—	—	—
0,63...0,32	1	M20	1	M14	1	M14	1	M20—M14	—	—
		M14		M10	2	M7	3	M3		
0,32...0,16	—	—	1	M14	1	M10	1	M14—M10	1	M14; M10
				M10		M7	2	M3	3	M7; M5 M1
0,16...0,08	—	—	—	—	—	—	1 2	M7 M3	1 2	M7; M5 M1

Примечания: 1. Меньшая зернистость абразивного материала соответствует меньшему параметру шероховатости  $Ra$  в интервалах.

2. Число переходов назначают в зависимости от требуемой шероховатости поверхности и качества предшествующей обработки.

### ХОНИНГОВАНИЕ

Хонингование — процесс обработки абразивными и алмазными брусками в основном цилиндрических отверстий (сквозных или глухих) диаметром 2 мм и более с отклонениями от цилиндричности до 5 мкм и параметром шероховатости поверхности  $Ra = 0,04...0,63$  мкм в деталях из стали, цветных металлов и их сплавов и других труднообрабатываемых материалов.

Процесс хонингования осуществляют специальной головкой с раздвижными брусками, совершающей возвратно-поступательное перемещение со скоростью  $v_{\text{пост}} = 15...20$  м/мин при черновой обработке и  $v_{\text{пост}} = 6...12$  м/мин при чистовой обработке (рис. 3).

Скорость вращательного движения  $v_{\text{окр}}$  головки должна назначаться из соотношения  $\lambda = v_{\text{окр}}/v_{\text{пост}} = 2...4$  при обработке стали и  $v_{\text{окр}}/v_{\text{пост}} = 3...5$  при обработке чугуна, бронзы, латуни и алюминиевых сплавов.

При черновом (предварительном) хонинговании удаляют припуск на диаметр 0,1...0,3 мм.

Значение припуска зависит от обрабатываемого материала, числа операций (переходов), исходных и требуемых точности размера, формы и шероховатости поверхности детали. При полувыводном и чистовом (окончательном) хонинговании припуск на диаметр составляет 0,005...0,08 мм при обработке заготовок из чугуна и стали и 0,01...0,1 мм при обработке заготовок из цветных металлов и сплавов.

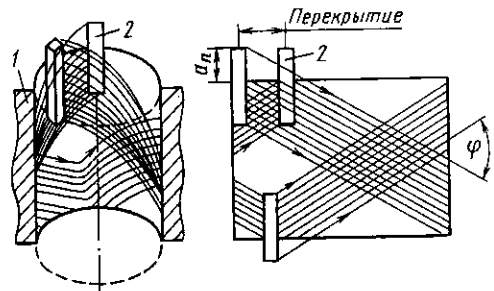


Рис. 3. Схема формообразования цилиндрической поверхности 1 при хонинговании абразивными брусками 2:  $\varphi$  — угол скрещивания,  $\alpha_n$  — перебор

При хонинговании заготовок применяют абразивные бруски из порошков и микропорошков электрокорунда марок 14А, 15А, 24А, монокорунда 44А, карбида кремния 63С из керамической и бакелитовой связках, синтетических алмазов марок АС4, АС6, АС15, АСМ, АСН на металлических, керамических, органических и металлосиликатных связках.

Общие рекомендации по выбору зернистости брусков при алмазном хонинговании приведены в табл. 9. Зернистость брусков для чистового хонингования – в табл. 10.

Режимы обработки и параметры качества обработанной поверхности после хонингования приведены в табл. 7.

При выполнении черного и чистового хонингования припуск на чистовое хонингование составляет 5...15 % припуска на черновое хонингование.

Хонингование производят с обильной подачей СОЖ. При обработке деталей из стали и чугуна в качестве СОЖ применяют керосин или смесь керосина с веретенным маслом номер 2 (10...20 %) и добавками скипидара и олеиновой кислоты.

Черновое хонингование закаленных стальных деталей повышает микротвердость

поверхностного слоя до 20 %, а чистовое хонингование на 30...40 % при общей глубине слоя  $h = 10...20$  мкм.

### ШЛИФОВАНИЕ И ПОЛИРОВАНИЕ АБРАЗИВНЫМИ ЛЕНТАМИ

При абразивном шлифовании (лентами из белого, хромистого или титанистого электрокорунда), а также алмазом ленточном шлифовании формирование микронеровностей на поверхности происходит в два этапа: на первом этапе уменьшаются высоты микронеровностей и волнистости, на втором этапе увеличиваются относительная опорная длина профиля неровностей и шаг волнистости поверхности. Поэтому ленточное шлифование рекомендуется проводить по временному циклу, исходя из достижения требуемых шероховатости поверхности и волнистости. Обычно цикл обработки не превышает 10...30 с, а снимаемый припуск – 0,01...0,05 мм. Отклонение формы обработанной поверхности при ленточном шлифовании, мм: 0,01 – для круглого шлифования; 0,05...0,07 – для фасонных поверхностей; 0,02...0,03 – при бесцентровой обработке; 0,04 – для плоских поверхностей.

#### 9. Зернистость брусков при алмазном хонинговании

Операция	Параметр шероховатости $Ra$ , мкм	Зернистость брусков для обработки		
		чугуна, стали закаленной	алюминиевых сплавов	бронзы
Предварительная	2,5...1,25	315/250–200/160	–	–
Получистая	1,25...0,32	160/125–63/50	125/100–80/63	80/63
Чистовая	0,32...0,08	28/20–20/14	40/28–14/10	10/7

Примечание. Для съема повышенных припусков рекомендуется применять крупнозернистые алмазные бруски зернистостью до 315/250 и выше.

#### 10. Зернистость брусков для чистового хонингования

Обрабатываемый материал	Параметр шероховатости $Ra$ , мкм		Зернистость брусков	Припуск на диаметр, мм
	до хонингования	после хонингования		
Чугун	2,5...0,63	0,63...0,32	80/63–63/50	0,02...0,03
	0,63...0,32	0,32...0,16	40/28–28/20	0,01...0,02
Сталь закаленная 58...65 HRC	2,5...0,63	0,63...0,32	100/80	0,02...0,08
	0,63...0,32	0,32...0,16	63/50–50/40	0,01...0,02
Сталь закаленная 46...52 HRC	0,32...0,16	0,16...0,08	M28/20	0,005...0,01
	1,25...0,63	0,63...0,32	80/63–63/50	0,02...0,03
	0,63...0,32	0,32...0,16	M28/20	0,01...0,02
	0,32...0,16	0,16...0,08	M20/14	0,005...0,01

## 11. Режимы шлифования абразивными лентами

Обрабатываемый материал	Вид обработки	Марка абразивного материала	Зернистость	Режим обработки		СОЖ
				Скорость резания $v$ , м/с	Давление $p$ , кПа	
Горяче- и холоднокатаная сталь; закаленная сталь	Черновая	13А, 14А, 24А	25–8	20...30	200...500	Водные растворы нитрида натрия и триэтанол-амина, сульфозрезол, масляные эмульсии, масло
	Чистовая	15А, 16А, 24А, 25А, 44А, 45А	16–М14	25...40	150...300	
Коррозионно-стойкая сталь и жаропрочные сплавы	Черновая	14А, 43А, 44А, 45А	40–25	20...25	100...300	
	Чистовая	15А, 16А, 24А, 25А, 44А, 45А	16–М40	25...35	50...150	
Алюминий и его сплавы	Черновая	14А, 62С, 63С	40–8	25...35	До 200	Масляные эмульсии, масло и сжатый воздух
	Чистовая	16А, 63С	12–М40	30...40	До 100	
Медь и ее сплавы	Черновая	14А, 62С, 63С	40–16	25...35	До 200	Водные растворы соды, эмульсин
	Чистовая	16А, 63С	12–М40	30...40	До 80	
Чугун	Черновая	14А, 62С, 63С	80–25	20...25	200...400	
	Чистовая	–	–	25...30	100...300	
Титановые сплавы	Черновая	14А, 15А, 16А	40–16	16...12	250...150	Водные растворы нитрида натрия, фосфата калия, гексаметафосфата натрия и триэтанол-амин, сульфозрезол, водные растворы хлористого калия и йода
	Чистовая	63С	25–М40	16...20	30...100	

Примечания: 1. Режимы полирования абразивными лентами соответствуют режимам чистового шлифования при меньших значениях указанного диапазона зернистости абразивного материала (М40–М28).

2. Ориентировочные значения зернистости абразивного материала лент и соответствующий ей параметр шероховатости  $Ra$  поверхности при обработке стальных деталей на ленточно-шлифовальных станках:

Зернистость .....	40–25	25–12	5–4	М40–М28
Параметр шероховатости $Ra$ , мкм .....	5...2,5	2,5...0,63	0,16...0,08	0,32...0,08

3. При черновом шлифовании используют рифленый контактный ролик, при чистовом шлифовании – гладкий.

Рекомендации по выбору режима обработки, характеристик абразивных и алмазных лент в зависимости от обрабатываемого материала приведены в табл. 11 и 12; схемы обработки бесконечными лентами – на рис. 4.

Схема легиционного шлифования крупногабаритных деталей сложной формы (днища емкостей из коррозионно-стойких сталей) приведена на рис. 5.



12. Режимы и условия шлифования и полирования бесконечными алмазными лентами

Обрабатываемая поверхность	Материал заготовки	Метод обработки	Характеристика инструмента	Режим обработки				Показатели процесса		Параметры качества обработанной поверхности			
				$V_{\text{с}}$ , м/с	$V_{\text{аб}}$ , м/мин	$F_{\text{ф}}$ , Н	$T_{\text{б}}$ , Н	$Q$ , мм <sup>3</sup> /мин	$q$ , мг/г	$R_a$ , мкм	$K$	$T_{\text{ис}}$ , %	$\Delta\phi$
Профильная	Закаленная и легированная сталь	Шлифование	АС2; 63/50-80/63; P9, P14; 100	30...	12...	20...30	200...	200...	7...8	0,4...	600...	18...20	0,03... 0,4 мм
				35	15		250		0,7	800			
Цилиндрическая	Закаленная и легированная сталь, титановые сплавы	Шлифование	АСМ; 40/28-50/40; P4, P9; 100	30...	5...	15...20	150...	50...	8...10	0,2...	1000...	40...50	8, 9-й квали- тет
				35	7		200	60	0,3	1200			
Цилиндрическая	Закаленная и легированная сталь, титановые сплавы	Шлифование	АС2; 63/50-80/63; P14, P9; 100	30...	50...	25...35	220...	200...	6...9	0,3...	800...	30...38	6, 7-й квали- тет
				35	100		250	300	0,6	1000			
Цилиндрическая	Цвѐтные сплавы	Полирование	АСМ; 20/14-40/28; P9, P1; 100	30...	40...	15...20	200...	30...	3...10	0,1...	1100...	60...100	7, 8-й квали- тет
				35	60		230	60	0,16	1500			
Цилиндрическая	Цвѐтные сплавы	Шлифование без охлаждения	АС2; 63/50-80/63; P9, P14; 100	20...	100...	10...15	250...	400...	15...24	0,3...	600...	20...25	7, 8-й квали- тет
				30	150		280	600	0,6	800			

Примечания: 1. Условные обозначения:  $V_{\text{с}}$  – скорость ленты;  $V_{\text{аб}}$  – окружная скорость детали;  $F_{\text{ф}}$  – сила прижима;  $T_{\text{б}}$  – сила предварительного натяжения ленты;  $Q$  – производительность по сему материалу;  $q$  – удельный расход абразива;  $K$  – показатель волнистости, равный отношению среднего шага волнистости к высоте волн;  $T_{\text{ис}}$  – относительная длина профиля волнистости при уровне сечения профиля волнистости;  $R_a$  – отклонение формы профиля обработанной поверхности.

2. При шлифовании и полировании бесконечными лентами применяют СОЖ: смесь керосина и машинного масла (4 : 1); 2...3 %-ный содовый раствор; 4 %-ная эмульсия.

3. В графе "Характеристика инструмента" данные приводятся в последовательности: марка алмаза, зернистость порошка, марка связки, относительная концентрация абразива.

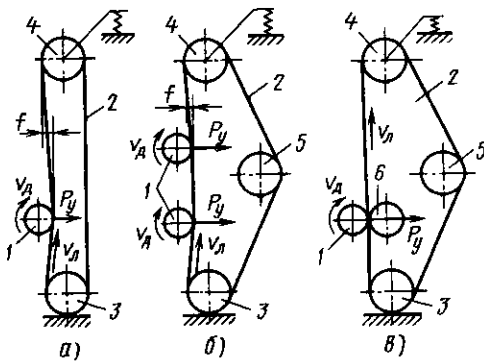


Рис. 4. Схемы обработки бесконечными лентами: а — на свободной ветви ленты; б — на свободной ветви ленты с опорным роликом; в — с поджатием ленты к обрабатываемой поверхности заготовки при помощи контактного ролика; 1 — обрабатываемая заготовка; 2 — лента; 3 — приводной ролик; 4 — натяжной ролик; 5 — опорный ролик; 6 — контактный ролик

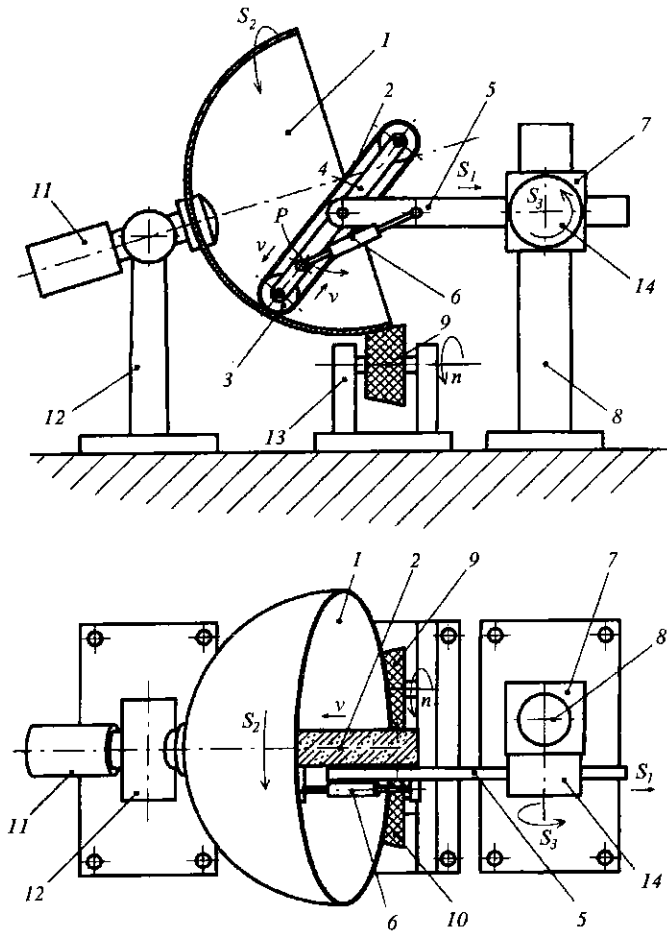


Рис. 5. Схема ленточного шлифования крупногабаритных деталей сложной конфигурации: 1 — деталь; 2 — абразивная лента; 3 — прижимной ролик; 4 — рычаг натяжения ленты; 5 — траверса; 6 — гидроцилиндр; 7 — коробка скоростей; 8 — колонна; 9 — ведущий ролик; 10 — опорный ролик; 11 — электродвигатель; 12 — стойка; 13 — опора; 14 — поворотный механизм;  $n$  — частота вращения ведущего ролика;  $S_1, S_2, S_3$  — движения подачи;  $P$  — сила прижима абразивной ленты к обрабатываемой поверхности;  $v$  — скорость главного движения

## ЧИСТОВАЯ И ПРЕЦИЗИОННАЯ ОБРАБОТКА

### СТРУЙНО-АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА

Струйно-абразивная обработка применяется либо для очистки поверхностей заготовки, либо для снижения шероховатости внутренних и наружных поверхностей, как правило, сложной формы – отделка фасонных поверхностей штампов и пресс-форм, очистка отливок, декоративное полирование поверхностей под гальваническое покрытие.

Струйно-абразивная обработка осуществляется зернами абразивного материала (зернистость 40 – М5), введенными в струю жидкости или газа, подаваемую под давлением на обрабатываемую поверхность. Выбрасываемые из сопла форсунки вместе с жидкостью (газом) абразивные зерна с большой скоростью (50 м/с и выше) ударяются об обрабатываемую поверхность, срезая на ней микронеровности, оставленные после предшествующей обработки.

На эффективность обработки оказывает большое влияние род абразивного зерна, зернистость, угол  $\alpha$  атаки струи (угол, под которым струя направлена на обрабатываемую поверхность).

Для подачи струи рабочей жидкости на обрабатываемую поверхность под давлением (400...800 кПа) применяют форсунку, в которую поступает сжатый воздух, распыляющий жидкость по полируемой поверхности. Наибольший съем обрабатываемого материала обеспечивается при углах атаки  $\alpha = 30...45^\circ$ . Для снижения шероховатости обработанной поверхности  $\alpha$  уменьшают до  $15...20^\circ$ . Для интенсификации процесса обработки и снижения шероховатости поверхности струи рабочей жидкости подают навстречу друг другу из сопел двух или нескольких форсунок.

### ВИБРОАБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА

Вибрационные методы абразивной обработки применяют для очистных, отделочных и шлифовально-полировальных операций. Обработка осуществляется в вибрационных барабанах и камерах – контейнерах, в которые загру-

жают заготовки и абразивные наполнители (рабочая среда). Барабану или камере сообщают вибрации в двух или трех направлениях (рис. 6). Вибрационная абразивная обработка в зависимости от состава рабочей среды представляет собой механический и химико-механический процессы удаления частиц обрабатываемого материала, сглаживания микронеровностей путем пластического их деформирования абразивными частицами рабочей среды. Вибрационную камеру устанавливают на пружинах и сообщают ей, например, с помощью инерционного вибратора (от вращающегося вала с несбалансированными грузами) колебательные движения в разных направлениях с частотами колебаний  $900...3000 \text{ мин}^{-1}$  и амплитудой 0,5...9 мм. Обрабатываемые заготовки и рабочая среда совершают относительные перемещения с переменными по величине и знаку ускорениями. Рабочая среда и заготовки участвуют в двух движениях: колебательном и циркуляционном (медленном вращении всей массы). Обработку осуществляют с использованием СОЖ.

В качестве абразивных наполнителей применяют: зерна из электрокорунда и карбида кремния зернистостью 25–40, дроблестые отходы абразивных кругов зернистостью 6–25 и

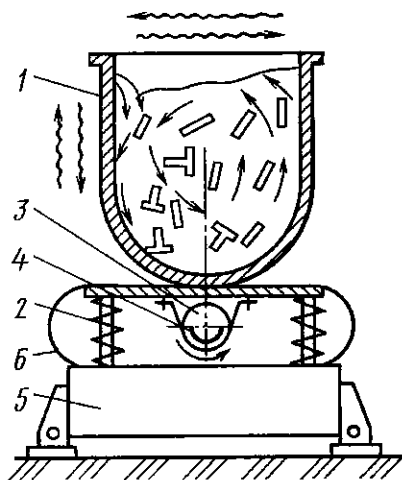


Рис. 6. Схема вибрационной установки:  
1 – рабочая камера; 2 – пружина;  
3 – инерционный вибратор; 4 – груз;  
5 – основание; 6 – ленточная пружина

степенью твердости СТ-ВТ на керамической связке. Жидкая составляющая рабочей среды – водные растворы щелочей, кислот и солей с различными химическими добавками. Раствор кальцинированной соды (2...3 %-ный) применяют при абразивной обработке поверхностей, снятии заусениц и окалины с чугунных и стальных деталей. На отделочных операциях используют мыльно-содовые растворы и водные растворы аммиака.

Соотношение обрабатываемых деталей и рабочей среды при полировании 1 : 3, при обработке нежестких деталей – 1 : 2; при обработке жестких деталей – 1 : 1. Время обработки партии деталей составляет 0,5...2 ч.

### АБРАЗИВНАЯ ДОВОДКА

Абразивная доводка (притирка) является методом окончательной обработки деталей, обеспечивающим высокое качество поверхностного слоя, шероховатость поверхности до  $Ra = 0,002...0,01$  мкм, отклонения размеров и формы обрабатываемых поверхностей до 0,05...0,3 мкм. Параметры качества, а также точность плоских, цилиндрических, сферических и

фасонных внутренних и наружных поверхностей деталей после доводки выше, чем после тонкого шлифования, суперфиниширования и хонингования.

Основные схемы доводки поверхностей деталей приведены на рис. 7. Одностороннюю или двустороннюю обработку плоских деталей осуществляют с помощью плоского притира (притиров) в виде диска, плиты (рис. 7, а) или трубчатого притира (рис. 7, б). Доводку наружных цилиндрических поверхностей осуществляют как плоскими (рис. 7, в), так и цилиндрическими притирами, а внутренних цилиндрических поверхностей в основном разрезными цилиндрическими притирами (рис. 7, г). Выпуклые сферические поверхности обрабатывают сферическим инструментом в виде трубки или чашеобразной "пиалы", а вогнутые – инструментом в виде "грибка", диска или трубчатого инструмента (рис. 7, д–ж, и); шарики доводят между двумя притирами, в одном из которых выполнена кольцевая канавка, а другой – плоский (рис. 7, з).

Доводку плоских и цилиндрических поверхностей деталей осуществляют на плоско-доводочных станках:

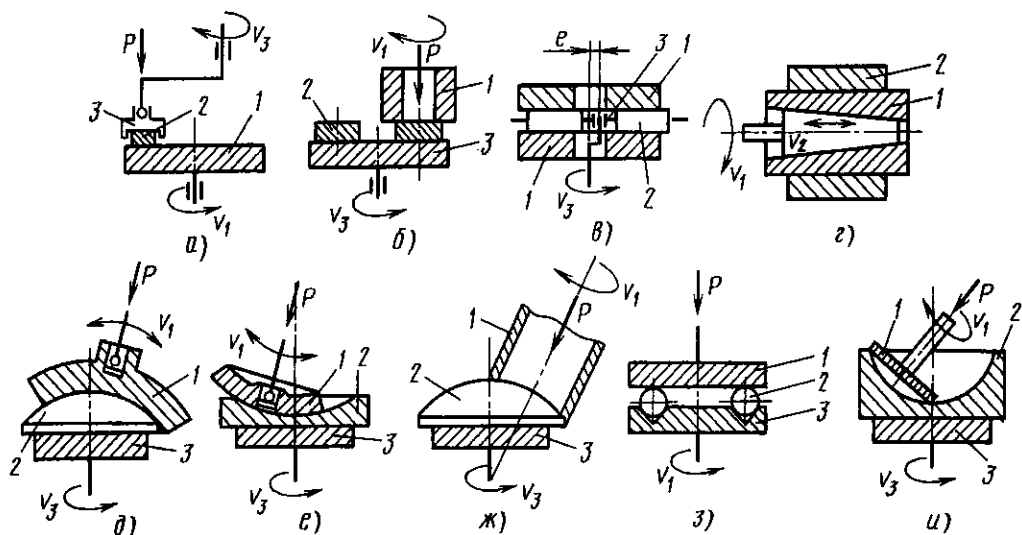


Рис. 7. Принципиальные схемы доводки плоских (а, б), цилиндрических (в, г) и сферических (д, е, ж, з, и) поверхностей:

1 – притир, 2 – обрабатываемая заготовка, 3 – стол (устройство для установки заготовки)

— одиодисковых с правильными кольцами мод. 3803, 3804П, 3806, 3806Л, 3807, 3808, 3809, 3809У с диаметром притиров 280...2240 мм (для обработки плоских поверхностей — диаметром 100...800 мм);

— двухдисковых различных моделей с планетарным и эксцентриковым исполнительными механизмами с различными диаметрами притира:

Модель станка .....	3813; 3813Б	3Б814; 3Е814	ЗД817	3Е816
Диаметры, мм:				
притира .....	280	450	1060	750
заготовки:				
плоской .....	До 60	До 115	До 380	До 200
цилиндрической ...	До 20	До 50	До 120	До 100

Для обработки тонких пласти из кремния, сапфира и других хрупких материалов диаметром 75...125 и толщиной 0,4...1 мм применяют доводочные станки с планетарным, эксцентриковым и с планетарно-эксцентриковым исполнительными механизмами (конструкции МГТУ им. Н.Э. Баумаи).

Различают два метода доводки в зависимости от типа абразивного инструмента (притира): доводку незакрепленными зернами абразивного материала в составе абразивных паст и суспензий и доводку закрепленными зернами абразива (шаржированными притирами, а также специальными инструментами из абразивно-инструментальных функционально-композиционных материалов). Припуск назначают в зависимости от требуемых параметров качества обработки (табл. 13).

### 13. Припуск на сторону поверхности, подвергаемой доводке, в зависимости от требуемых точности и шероховатости поверхности

Доводка	Точность обработки, мкм	Параметр шероховатости $Ra$ , мкм	Припуск, мм
Черновая (предварительная)	3...5	0,16...0,63	0,02...0,05
Получистовая	1...2	0,08...0,16	0,005...0,015
Чистовая (окончательная)	0,5...1	0,02...0,08	0,002...0,005
Тонкая	0,1...0,5	0,025...0,1	0,0002...0,001

требуемых производительности и параметров качества обработки. Для доводки деталей из труднообрабатываемых материалов наиболее распространенным материалом притира является серый чугун с ферритной, перлитной и перлитно-ферритной структурой; марки чугуна: СЧ15, СЧ18, СЧ20, СЧ25 (твердость 120...200 НВ). Предварительную доводку выполняют притирами из перлитных (наиболее износостойких) чугунов с крупнопластинчатым перлитом, хорошо удерживающим абразивные зерна.

Для окончательной доводки применяют более мягкие ферритные с фосфидной эвтектикой и перлитно-ферритные чугуны с мелкодисперсным и тонкопластинчатым перлитом. Из ферритных чугунов изготавливают притиры, шаржируемые мелкозернистым абразивным материалом зернистостью МЗ-М1 (в частности, для доводки концевых мер длины).

При доводке заготовок из цветных металлов и их сплавов (алюминиевых, медных, магниевых), отожженных сталей рекомендуется применять в качестве материалов притиров оптическое стекло марок МКР-1 (пирекс) или К8, а также перлитный чугун и цветные металлы (олово, свинец), которые хорошо шаржируются абразивом. Притиры из оптического стекла имеют в 1,5 раза выше износостойкость, чем чугунные. С их помощью получают однородную матовую поверхность без рисок. Используемые при этом суспензии приготовлены на основе керосиномасляной смеси и микрошлифпорошка зернистостью М40-М14. Обработку проводят при давлении  $p = 20...80$  кПа. В этих условиях зерна абразива свободно перекатываются между заготовкой и притиром. Доводка заготовок из закаленной стали с параметром шероховатости поверхности  $Ra = 0,005...0,02$  мкм осуществляется пастами ГОИ, содержащими окись хрома, олеиновую кислоту, стеарин или парафин на стеклянных или чугунных притирах.

Материал притира и его свойства выбирают в зависимости от физико-механических характеристик обрабатываемого материала и

Для окончательной доводки заготовок из закаленной стали, твердых сплавов, керамики и ситалла применяют притиры из цветных металлов и их сплавов (меди М1 твердостью 70 НВ, латуни Л63 твердостью 90 НВ) и пластмасс, которые обеспечивают стабильные результаты при шаржировании их абразивными и алмазными микропорошками. При доводке притирами с незакрепленными абразивными зернами наблюдается повышенный износ рабочей поверхности притиров.

Значения скоростей  $v$  относительного движения детали и притира, давлений  $p$  для двух видов доводки деталей и достигаемые параметры качества обработанных поверхностей деталей приведены в табл. 7.

### БЕЗАБРАЗИВНАЯ ДОВОДКА ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ ДИСКАМИ

Безабразивная доводка твердосплавными дисками применяется для доводки поверхностей прецизионных деталей. При этом способе обработки получают: отклонение от цилиндричности обработанной поверхности 0,5...2 мкм, отклонение от перпендикулярности торцевой поверхности к оси цилиндрической поверхности 1...3 мкм и параметр шероховатости поверхности  $Ra = 0,02...0,04$  мкм при обработке стальных цапф деталей приборов и  $Ra = 0,32...0,63$  мкм при обработке заготовок из титановых сплавов.

Одновременную доводку цилиндрической и торцевой поверхностей цапф приборов

осуществляют диском на цапфоводочных станках (рис. 8, а и б) или на токарных станках классов В и С, у которых шпиндель смонтирован на подшипниках скольжения. Твердосплавный диск 1 закрепляется в шпинделе качающегося рычага 2. Заготовка 3 получает вращательное движение со скоростью  $v_3 = 10...50$  м/мин и может перемещаться в осевом направлении. Опорой для заготовки служит люнет 4.

Инструменты (твердосплавные диски) изготовляют из твердых сплавов марок ВК6М и ВК10. На универсально-заточном станке на цилиндрическую поверхность А и торцевую поверхность Б диска наносят заточкой мелкие риски (параметр шероховатости рабочей поверхности инструмента  $Ra = 0,63...1,25$  мкм; риски наклонены под углом 10...25° к оси диска). Инструмент – чашечный алмазный круг зернистостью 50/40.

Скорость вращения твердосплавного диска  $v_d = 80...120$  м/мин (зависит от обрабатываемого материала).

При расположении оси шпинделя твердосплавного диска параллельно оси заготовки (рис. 8, б) на торцевую поверхность Б диска наносят более мелкие риски, чем на цилиндрическую поверхность А. Условия работы поверхностей А и Б диска различны: в процессе доводки цилиндрическая поверхность диска соприкасается с цилиндрической поверхностью заготовки по узкой площадке, а контакт торцевых поверхностей диска и заготовки осуществляется по площади С сегмента, что

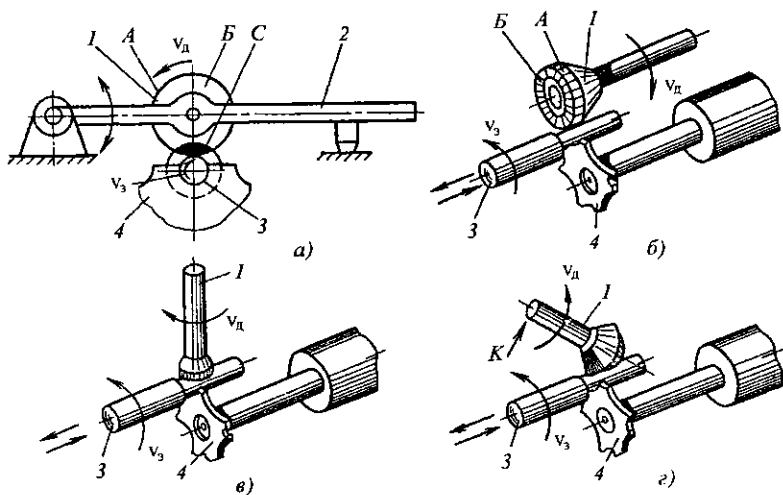


Рис. 8. Схемы доводки цилиндрических и торцевых поверхностей цапф твердосплавными дисками с расположением осей шпинделей заготовки и твердосплавного диска: а и б – параллельным; в – взаимно-перпендикулярным; г – взаимно-наклонным

приводит к большему съему материала с торца заготовки, чем с цилиндрической поверхности.

При перпендикулярном расположении оси шпинделя твердосплавного диска к оси заготовки (см. рис. 8, б) заточку твердосплавного диска по торцовой и цилиндрической поверхностям выполняют одинаковой, так как площади контакта поверхностей диска и заготовки также примерно одинаковы. Наклонное расположение оси шпинделя инструмента (твердосплавного диска) позволяет повысить качество торцовой поверхности цапфы посредством отвода инструмента в направлении  $K$ , перпендикулярном оси вращения шпинделя инструмента (рис. 8, з). Если длина обрабатываемой цилиндрической поверхности равна ширине торца цапфы, обработку осуществляют с подачей в направлении  $K$ .

Использование безабразивной доводки прецизионных деталей позволяет увеличить ресурс работы изделия, так как отсутствует шаржирование зерна абразива поверхностного слоя детали.

## ОТДЕЛОЧНАЯ ОБРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАМИ НА ГИБКОЙ ОСНОВЕ

Отделочная обработка деталей машин и неразъемных сборочных единиц включает в себя ряд технологических операций от грубого шлифования до зеркального полирования.

*Грубое шлифование* применяют для изменения геометрии обрабатываемых поверхностей, обработки контура, обработки ступеней.

Грубое шлифование производят: абразивными кольцами; бесшовными шлифовальными втулками и колпачками; шлифовальными цилиндрическими и коническими роликами; шлифовальными конусами; лепестковыми шлифовальными головками, кругами; фибровыми дисками различных марок и конструкций; многослойными шлифовальными дисками.

*Тонкое шлифование* применяют для снижения шероховатости поверхности, достижения однородного характера поверхности при соответствующем оптическом эффекте, очистки.

Тонкое шлифование производят: неткаными (волокоинными) абразивными инструментами различных конструкций; эластичными инструментами из абразивно-полимерных композиций; техническими щетками.

*Полирование* производят войлочными головками, войлочным и матерчатými кругами, в том числе войлочными кругами и головками

с металлическими включениями. Эти инструменты применяют вместе с алмазными или абразивными полировальными пастами.

Полирование подразделяют на предварительное и зеркальное.

Ниже описаны инструменты для шлифования и полирования производства фирмы PFERD (Германия).

## ГРУБОЕ ШЛИФОВАНИЕ

*Абразивные кольца* (табл. 14) применяют в серийном производстве деталей, а также при сборке. Кольца изготавливают из основы, устойчивой к разрыву. Прочное закрепление зерен обеспечивается применением в качестве связующих веществ синтетических смол. При обработке легких металлов применяется смазка. Для работы в жестких условиях рекомендуется применять абразивные кольца из циркониего электрокорунда.

Абразивные кольца устанавливают на оправки, которые используются многократно. Оправки бывают цилиндрические и конические. Цилиндрические оправки изготавливают шлицевыми или с коническими зажимными губками.

Шлицевые оправки применяют при условии обеспечения шлифовальной машиной необходимой частоты вращения инструмента. В этом случае за счет центробежных сил лента натягивается и становится эластичнее. Абразивные ленты легко снимаются и надеваются на оправку. Оправки с коническими зажимными губками удерживают абразивную ленту независимо от частоты вращения шпинделя приводного устройства.

Рабочая часть оправок изготовлена из резины. При этом твердая резина обеспечивает возможность применения большего усилия нажима при обработке и оптимальна для шлифования кромок.

*Бесшовные шлифовальные втулки* (табл. 15) предназначены для финишных работ в труднодоступных местах и узких отверстиях в инструментальном производстве (изготовление штампов и пресс-форм).

*Шлифовальные колпачки* (табл. 16) применяют для финишной обработки труднодоступных участков деталей из легированных и коррозионно-стойких сталей. Бесшовные шлифовальные колпачки надеваются на резиновые оправки и в процессе работы удерживаются центробежными силами. Преимущество такого исполнения заключается в обеспечении легкосъемности.

14. Характеристики абразивных колец

Кольцо		Диаметр хвостовика оправки $d$ , мм	Зернистость по FEPA	Эскиз	
диаметр $D$ , мм	высота $T$ , мм				
4	10	3; 6	A150		
6					
8					
10	20	6	A80; A150		
			A80; A150; A240		
13	10		A80; A150		
13	25		A80; A150; Z50; Z60; Z80		
			A60; A80; A150		
15	30		A50; A60; A80; A150; A240		
			A60; A80; A150; A240; Z40; Z50; Z60; Z80		
19	25		A50*; A60; A80*; A150*; A240		
22	20		A60; A80; A150; A240; Z40; Z50; Z60; Z80		
25	25		A40; A60; A80; A150		
		A36*; A40; A50*; A60; A80*; A150*; A240; Z40; Z50; Z60; Z80			
30	30	A40; A60; A80; A150; Z40; Z50			
		A36*; A40; A50*; A60; A80*; A150*; A240; Z40; Z50; Z60; Z80			
38	25	A40; A60; A80; A150; Z40; Z50			
45	30	A40; A60; A80; A150; Z40; Z60; Z80			
51	25	A36*; A40; A50*; A60; A80*; A150*			
60	30	6; 8	A40; A60; A80; A150; Z40; Z60; Z80		
75			A36*; A40; A50*; A60; A80*; A150*		
100	40	8	A40; A60; A80; A150		





\* Предусматривается исполнение INOX – обработка коррозионно-стойкой стали.

15. Характеристики бесшовных шлифовальных втулок

Втулка		Диаметр хвостовика оправки $d$ , мм	Зернистость по FEPA	Эскиз
диаметр $D$ , мм	высота $T$ , мм			
8/5	85	6	A60; A150; A280	
11/13				
18/16				
23/21				
22/14	65			
29/22	30			
36/22	60			



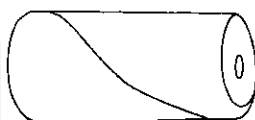

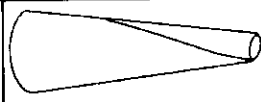
## 16. Характеристики шлифовальных колпачков

Колпачок		Диаметр хвостовика оправки $d$ , мм	Зернистость по FEPA	Эскиз
диаметр $D$ , мм	высота $T$ , мм			
<i>Форма А</i>				
5	10	3	A80; A150; A280	
7	12		A60; A150; A280	
10	15			
13	17			
16	26	6		
<i>Форма С</i>				
5	11	3	A80; A150; A280	
7	13		A60; A150; A280	
10	15			
13	17			
16	26	6		
<i>Форма G</i>				
5	11	3	A80; A150; A280	
7	13		A60; A150; A280	
10	15			
13	17			
16	26	6		
<i>Форма L</i>				
5	15	6	A80; A150; A280	
11	25		A60; A150; A280	
16	32			
21	40			

Цилиндрические и конические шлифовальные ролики (табл. 17) применяют для работ по выравниванию металла в труднодоступных местах при обработке сталей, в особенности коррозионно-стойких. После износа наружного слоя шлифовальной шкурки (ткани) в работу

вступают новые абразивные зерна, что обеспечивает высокую производительность обработки. Шлифование следует производить с контактом по линии или точке, а не по плоскости, так как перегрев разрушает клеящее соединение. Ролики устанавливают на стержни проклеенной стороной.

## 17. Характеристики шлифовальных роликов

Ролик		Диаметр хвостовика оправки $d$ , мм	Зернистость по FEPA	Эскиз
диаметр $D$ , мм	высота $T$ , мм			
<i>Цилиндрическая форма</i>				
6	25	3; 6	A80; A150	
	35			
9	25	6	A50; A80; A150	
	35			
12	25		A50; A80; A150	
	35			
18	35		A50; A80; A150	
	50			
<i>Коническая форма</i>				
10	25	3; 6	A80; A150	
12			A50; A80; A150	
15	35	6	A50; A80; A150	
10	50*		A80; A150	

\* Конусность 5°.

*Шлифовальные конусы* предназначены для удаления заусенцев в отверстиях и труднодоступных местах при обработке обычной и коррозионно-стойкой сталл. При установке на переходные стержни обеспечивается эффект самозатягивания, что также способствует быстрой смене инструмента.

*Лепестковые шлифовальные головки* (табл. 18) конструктивно выполнены таким образом, что несущие абразивные зерна пластины расположены в форме лепестков радиально относительно оси инструмента. Во время работы лепестки прилегают к контурам обрабатываемой детали, при этом все выступы и впадины охватываются одновременно.

Достоинства лепестковых головок: высокая эластичность и точность прилегания пластин; высокая скорость съема обрабатываемого материала, благодаря крупнозернистому абразивному материалу шлифовальной шкурки; несущий абразивные зерна материал изнашивается равномерно, не оставляя напоров на обработанной поверхности.

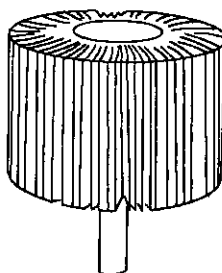
Основные примеры применения лепестковых головок: шлифование больших радиусов в производстве штампов и пресс-форм; обработка малых и труднодоступных поверхностей при производстве емкостей, а также в приборостроении; обработка арматуры из цветных металлов.

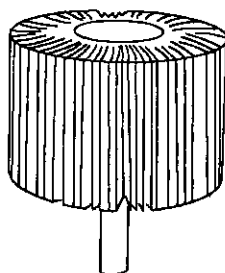
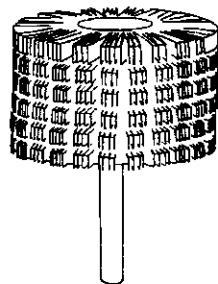
Лепестковые шлифовальные головки обеспечивают наибольшую эффективность при рекомендуемой окружной скорости 15...20 м/с. При этом достигается оптимальное сочетание между скоростью съема обрабатываемого материала, прилеганием по контуру и качеством обработанной поверхности.

Повышение производительности обработки достигается выбором более крупного зерна, а не увеличением давления на инструмент (для избежания быстрого износа лепестковой головки).

Благодаря особой конструкции лепестковой головки возможна обработка торцом инструмента граней и углов детали.

## 18. Характеристики лепестковых шлифовальных головок и щеток

Головка		Диаметр хвостовика оправки $d$ , мм	Зернистость по FEPA	Эскиз
диаметр $D$ , мм	высота $T$ , мм			
20	10	3	A120; A150; A180	<i>Лепестковая головка</i> 
			A80; A120; A150; A180	
25	15	6	A80; A120; A180	
			A80; A120; A150; A180	
			A80; A120; A180	
			A80; A120; A150; A180	
30	5	3	A60; A80; A120; A150; A180; A240; A320	
		6		
	10	3	A60; A80; A120; A150; A180; A240; A320; A400; C60; C80; C120; C150	
		15		
		20		
		30		
40	10	A60; A80; A120; A150; A180; A240		
	15	A60; A80; A120; A150; A180; A240; A320		
	20	A60* <sup>1</sup> ; A80* <sup>1</sup> ; A120* <sup>2</sup> ; A150; A180; A240* <sup>2</sup>		
50	10	A60; A80; A120* <sup>2</sup> ; A150; A180; A240* <sup>2</sup>		
		A320		
	20	A60; A80; A120; A150; A180; A240; A320		
		A60* <sup>1</sup> ; A80* <sup>1</sup> ; A120* <sup>2</sup> ; A150; A180; A240* <sup>2</sup> ; A320* <sup>2</sup>		
60	15	A60; A80; A120; A150; A180; A240; A320		
	20	A60; A80; A120* <sup>2</sup> ; A150; A180; A240* <sup>2</sup> ; A320		
	30	A40; A60* <sup>1</sup> ; A80* <sup>1</sup> ; A120* <sup>1</sup> ; A150; A180; A240; A320; A400; C60; C80; C120; C150		
	40	A60; A80; A120; A150; A180; A240; A320		
	50	A40; A60; A80; A120; A150; A180; A240; A320		
80	15	A60; A80; A120; A150; A180		
	20	A60; A80; A120; A150		
	30	A40; A60; A80; A120; A150; A180; A240; A320; C80		
	40	A60; A80; A120; A150; A240		
	50	A40; A60* <sup>1</sup> ; A80* <sup>1</sup> ; A120; A150; A180; A240; A320		

*Лепестковая головка**Лепестковая щетка*\*<sup>1</sup> Предусматривается исполнение INOX – для обработки коррозионно-стойкой стали.\*<sup>2</sup> Изготавливаются также лепестковые шлифовальные щетки.

Для обработки коррозионно-стойких и жаропрочных сталей рекомендуется применение лепестковых головок INOX. Для алюминия и его сплавов, меди, бронзы, титана, для высоколегированных сталей, а также для пластмасс рекомендуются лепестковые шлифовальные головки, содержащие в качестве абразива карбид кремния.

Лепестковые шлифовальные щетки (табл. 18) (каждая пластина дополнительно надрезается, что улучшает эластичность пластин) применяют, кроме указанных выше областей, при периферийном шлифовании. Оптимальная окружная скорость 15...20 м/с.

Лепестковые шлифовальные круги (табл. 19) предназначены для шлифования плоскостей и контуров. При этом решаются

задачи: устранение грубых неровностей (например, при зачистке сварных швов); создание равномерной структуры на больших плоскостях и контурах (матирование); тонкое шлифование на шлифовальных станках; применение на минооперационных станках с ЧПУ.

Лепестковые шлифовальные круги применяют как с подачей специального шлифовального масла, так и без смазки. При малых частотах вращения следует прикладывать меньшее усилие прижима, которое в любом случае должно быть таким, чтобы пластины сильно не изгибались.

Требуемая мощность приводных устройств связана с габаритными размерами лепесткового круга (табл. 20).

### 19. Характеристики лепестковых шлифовальных кругов

Круг		Диаметр посадочного отверстия $H$ , мм	Зернистость по FRPA	Частота вращения
диаметр $D$ , мм	высота $T$ , мм			рекомендуемая максимальная, мин <sup>-1</sup>
100	30	25,4	A40*; A60*; A80*; A120*	5500
	50			9500
150	25		A40*; A60*; A80*; A120*; A150; A240	3500
	30			6300
165	50		A40*; A60*; A80*; A120*; A150; A240; A320	3200
	25			5700
	30			
200	50	44,0	A60*; A80*; A120*; A150; A240; A320	2600
	25			4700
	30			
250	50			2100
				3800

\* Предусматривается исполнение INOX – для обработки коррозионно-стойких сталей.

### 20. Выбор мощности приводного устройства при обработке лепестковыми кругами

Наружный диаметр лепесткового круга $D$ , мм	Высота лепесткового круга $H$ , мм	Минимальная мощность приводного устройства, кВт
100...165	25...30	1,0
	50	1,5
200...250	25...50	

Рекомендуемая окружная скорость при обработке лепестковыми шлифовальными кругами 15...30 м/с, а максимально допустимая – 50 м/с.

Для грубого шлифования лепестковыми кругами применяют электрокорунд зернистостью 40–120, а для тонкого – зернистостью 150–320.

Для решения сложных задач отделки поверхностей из металла – от грубой обработки до зеркального полирования – применяют шлифовальные диски (табл. 21). Эти инструменты

## 21. Характеристики шлифовальных дисков

Диаметр $D$ , мм	Зернистость по FEPA	Эскиз
20* <sup>4</sup>	A60; A80; A120; A180; A320	
25* <sup>4</sup>	A60* <sup>1</sup> ; A80* <sup>1</sup> ; A120* <sup>1</sup> ; A180; A320	
38* <sup>4</sup>	A36* <sup>1</sup> ; A60* <sup>1</sup> ; A80* <sup>1</sup> ; A120* <sup>1</sup> ; A180; A320	
50* <sup>4</sup> , * <sup>5</sup> , * <sup>6</sup> , * <sup>7</sup>	A36* <sup>1</sup> , * <sup>2</sup> , * <sup>3</sup> ; A60* <sup>1</sup> , * <sup>2</sup> ; A80* <sup>1</sup> , * <sup>2</sup> , * <sup>3</sup> ; A120* <sup>1</sup> , * <sup>3</sup> ; A180; A320* <sup>3</sup> ; Z36; Z60; Z80; C36* <sup>3</sup> ; C60; C80* <sup>3</sup> ; C120; C240	
75* <sup>4</sup> , * <sup>5</sup> , * <sup>6</sup> , * <sup>7</sup>	A36* <sup>1</sup> , * <sup>2</sup> , * <sup>3</sup> ; A60* <sup>1</sup> , * <sup>2</sup> ; A80* <sup>1</sup> , * <sup>2</sup> , * <sup>3</sup> ; A120* <sup>1</sup> , * <sup>3</sup> ; A180; A320* <sup>3</sup> ; Z36; Z60; Z80; C36* <sup>3</sup> ; C60; C80* <sup>3</sup> ; C120; C240	

\*<sup>1</sup> Предусматривается исполнение Forte – для вязких металлов.

\*<sup>2</sup> Предусматривается исполнение INOX-Forte – для обработки коррозионно-стойких сталей.

\*<sup>3</sup> Предусматривается исполнение TX – из тканого материала.

\*<sup>4</sup> Предусматривается изготовление из жесткого нетканого волокнистого материала с крупным, средним и мелким абразивом.

\*<sup>5</sup> Предусматривается изготовление из мягкого нетканого волокнистого материала со средним, мелким и очень мелким абразивом.

\*<sup>6</sup> Предусматривается изготовление из войлока без абразива.

\*<sup>7</sup> Предусматривается изготовление из нетканого волокнистого материала с крупнопористой структурой высотой 13 мм.

применяют при производстве штампов и пресс-форм; при изготовлении моделей; в общем машиностроении; в автомобилестроении; в авиационной и космической промышленности; при производстве и ремонте турбин; в производстве емкостей и установок для пищевой и химической промышленности; в атомной энергетике.

Для отделки черных металлов рекомендуются корундовые шлифовальные диски.

Шлифовальные диски с циркониевым корундом применяют при обработке всех металлов для обеспечения высокой производительности при грубом шлифовании. Обеспечивается высокая прочность инструмента при шлифовании кромок. Для обработки (отделки) алюминия, меди, бронзы, титана, высоколегированных сталей, пластмасс рекомендуются шлифовальные диски с карбидом кремния. Они широко применяются в авиапромышленности при обработке турбин, поскольку в этом случае допускается обработка только зернами карбида кремния.

К специальным шлифовальным инструментам для отделочной обработки относятся многослойные шлифовальные диски, круги, закрепляемые на "липучке" и фибродиски.

Многослойные шлифовальные диски предназначены для шлифования (отделки) галтелей и щелей. Пластичные эластичные

шлифовальные лепестки, расположенные по обеим сторонам круга, идеально подходят для снятия заусенцев и отделки контуров.

Круги, закрепляемые на "липучке", применяют для отделки больших поверхностей угловыми шлифовальными машинами. Достоинства: за счет высокой эластичности можно шлифовать как плоскости, так и контуры; такими кругами обрабатывают практически все материалы; обеспечивается быстрая смена инструмента.

Фибродиски очень гибки и предназначены для отделки плоскостей и изогнутых поверхностей. Их область применения – обработка деталей после шлифования в производстве емкостей, кузовов, в приборостроении, а также при очистке досок опалубки.

### ТОНКОЕ ШЛИФОВАНИЕ

Разновидностями шлифовальных дисков (см. табл. 21) являются тканые и нетканые (волоконные) круги.

Тканые круги позволяют за одну технологическую операцию обеспечить более высокое качество обработанной поверхности, чем при обработке бесконечной абразивной лентой. Тканые круги, содержащие электрокорунд, применяются при обработке коррозионно-стойких и кислотостойких сталей и алюминии-

вых сплавов. Для обработки жаропрочных сталей и сплавов рекомендуются тканые круги, содержащие карбид кремния.

Волоконные круги из нетканого материала (рис. 9) имеют открытую структуру (жесткое исполнение) и очень открытую структуру (мягкое исполнение). Волокнистые круги жесткого исполнения применяют, например, для удаления оксидной пленки, снятия небольших заусениц. Волокнистые круги мягкого исполнения применяют для отделки плоскостей, контуров, зачистки металлов и лаков. При отделочной обработке волокнистыми кругами добавление масла или воды улучшает качество обработанной поверхности, повышает стойкость кругов.

Шлифовальными головками для тонкого шлифования из нетканого волокнистого материала (табл. 22) могут обрабатываться практически

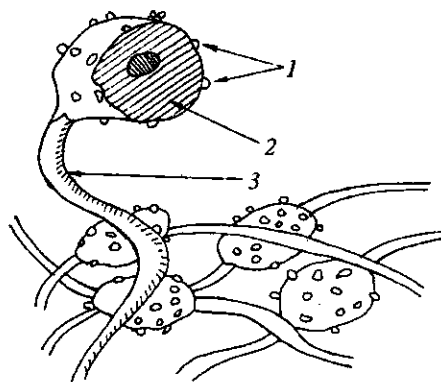



Рис. 9. Структура волоконного нетканого абразивного материала:

1 – абразивные зерна; 2 – связующее вещество; 3 – волокна

### 22. Характеристики инструментов для тонкого шлифования из нетканых волокнистых материалов

Диаметр $D$ , мм	Высота $T$ , мм	Диаметр хвостовика $d$ (отверстия $H$ ), мм	Зернистость по FEPA	Примечание, эскиз
40	20	6	A100; A180; A280; C180; C280	Волокна образуют пластинки, расположенные радиально
50	30			
60	50			
80				
150				
200	(25,4)	A100; A180; A280	Волокна образуют пластины, расположенные слоями	
60	(44,0)			
80	6			
100	35	(10)		Расположенные радиально пластины из нетканого материала проложены вставками из шлифовальной шкурки
150	40	(20)		
40	20	6		
60	50			
80				
100				
150			(25,4)	
200	(44,0)	A100; A180; A280		
100	6			
150	25			C100
150	30	(20; 25,4)	A80; A100; A180; A280	
200	50			

все материалы. Эти инструменты применяют в основном для создания определенных эффектов на поверхности детали и для работ по очистке поверхностей. Области применения:

- для матирования и сатиинирования (тонкого матирования) металлов;
- для матирования цветных металлов;
- для снятия оксидной пленки с поверхности цветных металлов;
- для штрих-матирования коррозионно-стойкой стали;
- для создания шероховатости на поверхностях деталей из пластмасс перед склеиванием.

Шлифовальные головки с радиальным, пластинообразным расположением волокон применяют в основном для обработки плоскостей. Пластины расположены плотно, что обеспечивает продолжительный срок службы инструмента. Такие головки изготавливают с электрокорундом и карбидом кремния. Головки с карбидом кремния предназначены для тонкого шлифования и матирования цветных металлов, коррозионно-стойких сталей, удаления заусенцев с обработанных алюминиевых деталей и очистки от лаков и покрытий.

В шлифовальных головках с волокнами, расположенными по окружности (аксиально) отдельные круговые волокна не соединены

друг с другом. Этим обеспечивается точное совпадение с контуром обрабатываемой детали, например при обработке профилей и труб.

Шлифовальные головки, содержащие расположенные радиально волокнистые пластины, вставками из шлифовальной шкурки обеспечивают относительно большой съем материала. Обрабатываемая поверхность при этом более грубая.

Шлифовальные головки с волоконными полосками, закрепленными вокруг оси инструмента, обеспечивают возможность штрих-матирования плоскостей.

Для аналогичной обработки протяженных поверхностей применяют *шлифовальные круги* (табл. 23). Если волоконные пластины расположены радиально, то такими кругами удобно обрабатывать большие поверхности (производство емкостей для пищевой промышленности). Расположенные вокруг металлической центральной втулки волоконные пластины могут быть скреплены друг с другом зажимами металлической втулки. В этом случае совпадению с контуром детали способствует открытая укладка кругов и их высокая эластичность. Данными кругами возможно штрих-матирование плоскостей и профилей.

**23. Характеристики шлифовальных кругов из сильно уплотненных нетканых волоконистых материалов**

Диаметр $D$ , мм	Высота $T$ , мм	Диаметр отверстия $H$ , мм	Зернистость по FEPA	Исполнение
25	25	6	A100; A280	Жесткое
				Среднежесткое
50	3		A280	Жесткое
75	6		A100	Среднемягкое
	13			
	6		A280; C280	
	13			
	6		A100; A280; C280	
150	25		20; 25,4	C280
		A100		
		6	A280	Среднежесткое
	20; 25,4	A280; C280	Среднемягкое	
8	13	A180; A280	Неуплотненный материал	

У компактированных шлифовальных кругов (см. табл. 23) волоконный материал намотан на центральную втулку инструмента и скреплен вспененной связкой, укрепляющей волокно, что позволяет увеличить срок службы инструмента. Подобная структура требует соблюдения направления вращения инструмента (в противном случае инструмент выходит из строя). Компактированные шлифовальные круги применяются для работ по удалению небольших заусенцев, округления кромок, тонкого шлифования сварных швов, штрих-матирования плоских деталей.

Шлифовальные круги из сильно уплотненного шлифовального волокна устраняют следы обработки с относительно высокой производительностью при средней эластичности. Они применяются для обработки мягких металлов, легированных и высоколегированных сталей, а также для очистки, полирования и чистовой обработки. Эти круги бывают жесткого (Н), среднежесткого (МН), среднемягкого (МВ) и мягкого (В) исполнения.

Круги жесткого исполнения имеют наименьшую эластичность. Они обеспечивают очень высокую производительность обработки при высокой прочности кромок. Такие круги пригодны для матирования и предварительного полирования, шлифования небольших сварных швов, удаления следов грубой обработки и удаления заусенцев с труднообрабатываемых материалов.

Круги среднежесткого исполнения имеют большую эластичность, чем жесткие. Они обеспечивают высокую производительность обработки и предназначены для удаления следов обработки, удаления заусенцев с мягких сталей и окончательной обработки коррозионно-стойких и кислотостойких сталей, а также титановых сплавов.

Круги среднемягкого исполнения обеспечивают среднюю производительность съема материала. Они рекомендуются к применению в авиапромышленности для предварительного полирования и чистовой обработки лопаток турбин. Одновременно обеспечивается удаление следов, возникших при предыдущей обработке.

Круги мягкого исполнения имеют наибольшую эластичность, обеспечивая среднюю производительность съема материала. Их применяют для легких работ по очистке, для удаления мелких царапин, а также для чистовой обработки контурных поверхностей на деталях из алюминия, меди и бронзы.

Нетканые сверхвысокопористые волоконные круги предназначены для обработки сложных контуров штампов и пресс-форм, снятия заусенцев, очистки и тонкого шлифования. Для увеличения площади обработки возможно пакетирование кругов.

Аналогичные круги на текстильной основе предназначены для чистовой обработки предварительно шлифованных поверхностей в производстве емкостей, автомобиле- и приборостроении, а также для обработки лакированных и шпаклеванных поверхностей. Такие инструменты обрабатывают различные материалы: сталь, жель, лак, шпаклевку — на выпуклых и вогнутых поверхностях. Эти круги обеспечивают плавный переход от шлифования к полированию.

Соответствующие круги на "липучке" применяют для тонкого шлифования, матирования и зачистки плоскостей большого размера.

Шлифовальные звезды из нетканого волоконного материала предназначены для очистки, снятия заусенцев и тонкого шлифования плоскостей и контуров в узких, труднодоступных местах, отверстиях или углублениях, для очистки и снятия заусенцев на резьбовых соединениях.

Специальный инструмент для создания мраморного эффекта на поверхностях плоских и фасонных деталей изготавливается из уплотненных шлифовальных волокон и содержит зерна электрокорунда размером 100, 180 или 280. Оптимальный диапазон частот вращения инструмента 600...1400 об/мин. Такие инструменты имеют резьбовой вкладыш, а круги крепятся на "липучке" к резиновой основе.

Шлифовальные подушки (листы из нетканого волокнистого материала формата А) поставляются в пяти исполнениях различной зернистости и широко используются мастерскими и сборочно-монтажными предприятиями. Шлифовальными подушками можно обрабатывать: все виды сталей; пластмассы; стекловолоконные полимеры; лаки и шпаклевки. Основными технологическими операциями являются: легкое удаление заусенцев; удаление ржавчины; очистка форм и инструментов на производстве; зачистка алюминия от оксидов; удаление мелких царапин; шлифование лаковых покрытий; шлифование дерева. Шлифовальные подушки применяют всухую, с водой, эмульсией и маслом.

Универсальное применение для отделочной обработки находят круги из абразивного



материала со сверхкрупными порами. Этот материал содержит длинные нити нейлона и крупные зерна карбида кремния, что позволяет удалять материал с обрабатываемой поверхности (зачистка сварных швов, ржавчины, смолы, масла, лака и т.д.) без изменения геометрии заготовки. Рабочую поверхность инструмента очищают сжатым воздухом. Обработка носит безвибрационный характер. Инструменты из этого материала могут работать как периферией, так и торцом. Рекомендуемая окружная скорость 30...35 м/с.

Основной тенденцией в технологии отделочной обработки в настоящее время является замена свободного абразива на связанный. Абразивные инструменты для этих целей изготавливают на органических связках: полиуретановой, резиновой, кожаной и текстильной.

*Полиуретановая (PUR) связка* — очень мягкая и эластичная. Она обеспечивает низкую температуру шлифования, а инструмент хорошо согласуется с очертаниями детали. Полиуретан в качестве связки применяется с абразивом CN (карбид кремния зеленый) и бывает трех разновидностей: мягкий (W); средний (MH) и твердый (H).

*Резиновые связки* изготавливают из обычной резины (GR) и твердой резины (GHR). Резина GR применяется с абразивом AR (розовый электрокорунд) для мягкого, тонкого шлифования, подготовки к полированию и матирования поверхностей на цветных металлах. Резина GHR применяется с абразивом ANCN (смесь нормального электрокорунда и карбида кремния зеленого) для тонкого шлифования с высокой производительностью по скорости съема обрабатываемого материала при большом сроке службы инструмента.

*Кожаные связки* бывают из обычной кожи (LR) и жесткой кожи (LHR). Кожа LR применяется с абразивом AW (электрокорунд белый) и обеспечивает высокое качество обработки поверхности и высокую стойкость инструмента. Инструменты с этой связкой применяют для подготовки к полированию и округления кромок. Кожа LHR применяется с абразивом AWCN (смесь электрокорунда белого с карбидом кремния зеленым) и обеспечивает высокую износостойкость и прочность кромок инструмента. Применяется для легких работ по снятию заусенцев.

*Текстиль (TX)* в качестве связки применяется с абразивом ANCN и обеспечивает вы-

сокую производительность съема обрабатываемого материала и прочность кромок инструмента при тонком шлифовании. Инструменты со связкой на основе текстиля применяют для удаления заусенцев и скругления кромок.

Рекомендации по применению связок эластичных инструментов для отделочной обработки приведены в табл. 24.

Основными разновидностями инструментов, изготавливаемых с эластичными связками, являются: головки для тонкого шлифования; мини-диски и мини-линзы; круги и диски для тонкого шлифования, эластичные абразивные бруски.

*Цилиндрические головки* для тонкого шлифования (табл. 25) изготавливают со связками GR, GHR, LR, LHR, PUR. При этом инструменты с полиуретановой связкой применяют для: штрихового матирования; зачистки и подготовки к зачистке; снятия оксидного слоя; удаления небольших заусенцев, а инструменты с резиновой связкой — для тонкого шлифования и подготовки к полированию.

*Головки сферической формы* изготавливают на связках GR и LR. Они удобны при обработке вогнутых поверхностей.

Достоинства слоисто-волоконных тонкошлифовальных головок: высокая производительность съема материала и высокое качество обработанной поверхности. Легко связанные между собой волокна осуществляют мягкое и холодное шлифование. При работе этими головками необходимо шлифовать с малыми усилиями.

Областями применения тонкошлифовальных головок на связке TX являются: тонкое шлифование штампов и пресс-форм; удаление заусенцев в отверстиях; легкое удаление кромок; тонкое поверхностное шлифование жаропрочных материалов (например, титана).

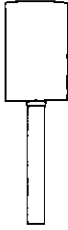
*Мини-диски и мини-линзы* (табл. 26) предназначены для тонкого шлифования всех металлических материалов, например: в инструментальной промышленности и общем машиностроении; в производстве пресс-форм, в зубопротезных лабораториях; в ювелирной промышленности; при восстановлении резьб в корпусах емкостей и т.д.

*Круги и диски из эластичных абразивно-полимерных композиций* применяют для тонкого шлифования, а головки, работающие торцом, — для создания на поверхности металла мраморного эффекта (мраморирования). Рекомендуемые частоты вращения 1000...4000 мин<sup>-1</sup>.

24. Рекомендации по применению инструментов из эластичных абразивно-полимерных композитов для отделочной обработки

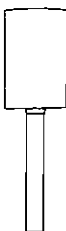
Обрабатываемый материал	Обрабатываемая поверхность	Съем материала	Вид поверхности	Рекомендуемая связка, скорость резания	Область применения
Сталь Холодно- и горячекатаная, литые	Плоскость	Низкий	Матовая	PUR W, 15 м/с; PUR MH, 15 м/с	Производство штампов и пресс-форм
			Глянцевая	GR, 15 м/с; LR, 25 м/с	
			С рисками	PUR H, 15 м/с; GR, 15 м/с; LR, 25 м/с	
Коррозионно-стойкая сталь, титан Литье, прокат	Кромка	-	Матовая	TX, 30 м/с	Производство емкостей, тонкое шлифование плоскостей
			Глянцевая	GHR, 30 м/с; LHR, 50 м/с	
			С рисками	PUR W, 10 м/с; PUR MH, 10 м/с	
Жаропрочные сплавы Стали и сплавы на основе никеля	Плоскость	Низкий	Глянцевая	GR, 12 м/с; LR, 20 м/с	Производство двигателей, компрессоров и турбинных лопаток
			С рисками	PUR H, 10 м/с; GR, 12 м/с; LR, 20 м/с	
			Матовая	TX, 30 м/с	
Легкие металлы Алюминий, алюминиевые сплавы, литье	Кромка	-	Глянцевая	GHR, 20 м/с; LR, 25 м/с	Производство форм
			С рисками	PUR H, 15 м/с	
			Матовая	TX, 30 м/с	
Цветные металлы Бронза, медь, латунь, литье из латуни и бронзы	Плоскость	Низкий	С рисками	PUR MH, 10 м/с; PUR H, 15 м/с; GR, 20 м/с; GHR, 25 м/с	Приборостроение
			Матовая	Войлок, 20 м/с	
			Глянцевая	GHR, 25 м/с; TX, 30 м/с	
Кромка	-	Глянцевая	GHR, 25 м/с; TX, 30 м/с	Приборостроение	
		С рисками	Войлок, 20 м/с		
		Матовая	PUR W, 10 м/с; PUR MH, 10 м/с		
Кромка	-	Глянцевая	GR, 12 м/с; LR, 15 м/с	Приборостроение	
		С рисками	GHR, 25 м/с; TX, 30 м/с		
		Матовая	TX, 30 м/с		
Кромка	-	Глянцевая	GHR, 30 м/с; LR, 30 м/с	Приборостроение	
		С рисками	GHR, 30 м/с; LR, 30 м/с		
		Матовая	GHR, 30 м/с; LR, 30 м/с		

## 25. Характеристики головок для тонкого шлифования

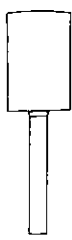
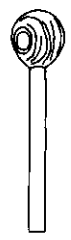
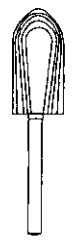

Головка		Диаметр хвостовика $d$ , мм	Материал связки, марка абразива и зернистость по FERA	Эскиз
диаметр $D$ , мм	высота $T$ , мм			
4	8	3	GR AR120; GHR AW400; LR AW120	
	10		GR AR120; LR AW120; TX ANCN 80; TX ANCN120	
	8		GR AR120; GR AR220; GHR ANCN120; LR AW120	
8	12	GR AR120; GR AR220; GHR ANCN120; GHR AW400; LR AW120; LR AW220; LR AW400; LHR AW120; PUR-W CN80; PUR-W CN150; PUR-MH CN150; PUR-MH CN220; TX ANCN80; TX ANCN120		
	6	GR AR120; GR AR220; GHR ANCN120; LR AN120		
10	6	6	GR AR120; GHR ANCN120	
	10	3	GR AR120; GR AR220; GHR ANCN120; LR AW120; LR AW220	
		6	GR AR120; GHR ANCN120; LR AW120; LR AW220	
	15	3	GR AR120; GR AR220; GHR ANCN120; LR AW120; LHR AW120	
12	25	6	GR AR120; GR AR220; GHR ANCN120; LR AW120	
		3	GR AR46; GR AR80; GR AR120; GR AR220; GHR ANCN46; GHR ANCN80; GHR ANCN120; GHR ANCN220; GHR AW400; LR AW120; LR AW220; LR AW400; LHR AWCN60; LHR AW120; PUR-W CN80; PUR-W CN150; PUR-MH CN150; PUR-MH CN220; TX ANCN80; TX ANCN120	
		6	GR AR120; LR AW120	
12	8	6	GR AR120; LR AW120	
		3	GR AR120; LR AW120	
	20	6	GR AR120; GR AR220; LR AW120	
		3	GR AR120; GR AR220; GHR ANCN46; LR AW120; LHR AW120	

Прямая форма

Продолжение табл. 25

Головка		Диаметр хвостовика d, мм	Материал связки, марка абразива и зернистость по FERA	Эскиз
диаметр D, мм	высота Г, мм			
15	10	6	GR AR120; LR AW120	
	15		GR AR120; GR AR220; LR AW120	
	25		GR AR120; GR AR220; LR AW120; LR AW220	
16	30	6	GR AR46; GR AR80; GR AR120; GR AR220; GHR ANCN46; GHR ANCN80; GHR ANCN120; GHR ANCN220; GHR AW400; LR AW220; LR AW400; LHR AWCN46; LHR AWCN60; LHR AW120; LHR AW220; PUR-W CN30; PUR-W CN80; PUR-W CN150; PUR-MH CN30; PUR-MH CN80; PUR-H CN80	
	32		PUR-W CN30; PUR-W CN80; PUR-W CN150	
	12		TX ANCN80; TX ANCN120	
20	20	6	GR AR120; GR AR220; LR AW120; LR AW220; LHR AW120	
	30		GR AR46; GR AR80; GR AR120; GHR ANCN80; GHR ANCN120; GHR ANCN220; GHR AW400; LR AW80; LR AW120; LR AW220; LR AW400; LHR AWCN46; LHR AWCN60; LHR AW220; PUR-W CN30; PUR-W CN80; PUR-W CN150; PUR-MH CN30; PUR-MH CN80; PUR-MH CN150; PUR-MH CN220; PUR-H CN30; PUR-H CN80	
	32		PUR-W CN80; PUR-W CN150; TX ANCN80; TX ANCN120	
25	15	6	GRAR120; LRAW120	
	25		GR AR120; GR AR220; GHR ANCN46; LR AW46; LR AW120	
	30		PUR-W CN80; PUR-W CN150	
30	32	6	TX ANCN80; TX ANCN120	
	20		GR AR120; LR AW46; LR AW120	
	30		GR AR46; GR AR80; GR AR120; GR AR220; GHR ANCN80; GHR ANCN120; GHR ANCN220; GHR AW400; LR AW80; LR AW120; LR AW220; LR AW400	

Окончание табл. 25

Головка		Диаметр хвостовика $d$ , мм	Материал связки, марка абразива и зернистость по FERA	Эскиз	
диаметр $D$ , мм	высота $T$ , мм				
32	32	6	PUR-W CN30; PUR-W CN80; PUR-W CN150; PUR-W CN30; PUR-MH CN80; PUR-MH CN150; PUR-MH CN220		
40	25	8	GR AR120; GR AW120		
	40	6	PUR-W CN30; PUR-W CN80		
50	32	8	GR AR120		
<i>Сферическая форма</i>					
6			TX ANCN80; TX ANCN120		
8		3	GR AR120; LR AW120; TX ANCN120		
10			GR AR120; LR AW120; TX ANCN80; TX ANCN120		
12			GR AR120		
15					
20		6	GR AR120; LR AW120		
25					
30			GR AR120		
<i>Застренная форма</i>					
10	20	3			
20	32	6	TX ANCN80; TX ANCN120		
<i>Коническая форма</i>					
10	25		TX ANCN80; TX ANCN120		
16	45	6			
25	70		TX ANCN80		

**26. Характеристика абразивных кругов для тонкого шлифования**

Диаметр $D$ , мм	Высота $T$ , мм	Диаметр отверстия $H$ , мм	Материал связки, марка абразива и зернистость по FEPA	
16	4	2	GHR CU220* <sup>1</sup>	
24	3		GRAR120; GHRCU220	
25		6	3	TXA36; TXA80; TXA120
	6		GRAR120	
40	3	6	TX A36; TX A80; TX A120	
	6			
	10			
50	6	10	GR AR120	
60	10			
75	3		22	TX A36; TX A80; TX A120
	6			
	10			
80	6	20	PUR-W CN80	
100	20		GR AR120	
115	13		20	GR AR120; PUR-W CN80; PUR-MH CN150
		25		PUR-W CN60* <sup>2</sup> ; PUR-W CN150* <sup>2</sup> ; PUR-MH CN60* <sup>2</sup> ; PUR-MH CN150* <sup>2</sup>
				32
125	20	20	PUR-W CN80	
150	25		PUR-W CN80	
175			PUR-W CN80; PUR-W CN150	
200	32			

\*<sup>1</sup> Линзообразная форма профиля.

\*<sup>2</sup> Обработка торцом.

Бруски со связкой из полиуретана предназначены для зачистки металлов, пластмасс, природных и искусственных камней, шлифования алюминиевых деталей, финишной обработки корпусов, округления кромок листового металла, кузовных ремонтных работ.

**ПОЛИРОВАНИЕ**

Для полирования торцом круга с применением полировальных, шлифовальных и алмазных паст используют войлочные диски аналогичные приведенным в табл. 21.

Войлочные полировальные головки (табл. 27) благодаря разнообразию размеров и форм позволяют полировать детали сложной геометрии.

Войлочные головки производят в двух исполнениях:

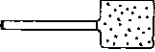
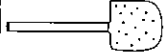



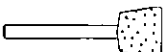
1) войлочные головки для зеркального полирования;

2) войлочные головки с металлическими включениями для обеспечения большого съема материала в процессе полирования с использованием алмазных паст. Такая конструкция ускоряет процесс полирования, так как в войлок введены куски тончайшей латунной проволоки. При этом алмазные зерна не проникают глубоко в толщу войлока и тем самым используются более полно.

Выпускают войлочные головки с углублением на торце, что обеспечивает возможность полирования торцом. Войлочные головки можно править специальными правильными брусками. Рекомендуемая окружная скорость при полировании войлочными головками 5...10 м/с.

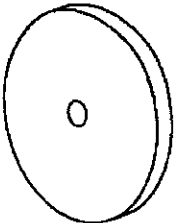
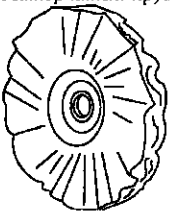
Войлочные круги (табл. 28) применяют для зеркального полирования. Войлочные круги с металлическими включениями применяют для предварительного полирования.

## 27. Характеристики войлочных головок

Головка		Диаметр хвостовика $d$ , мм	Эскиз	Головка		Диаметр хвостовика $d$ , мм	Эскиз
диаметр $D$ , мм	высота $T$ , мм			диаметр $D$ , мм	высота $T$ , мм		
<i>Прямая форма</i>				<i>Цилиндросферическая форма</i>			
6	10	3		8	12	3	
8				14			
10				20			
15*	25	6		15	20	6	
20*				30			
25*				30			
<i>Заостренная форма</i>				<i>Коническая форма</i>			
8	12	3		15	20	6	
10	18	6		20	25		
		3		25	30		
12	20	6		30	35		
15				14	6		
				30			
20	25		<i>Обратный конус</i>				
			20	16	6		

\* С торцовым углублением. Изготавливаются также с включениями из латуни.

## 28. Характеристики полированных кругов

Диаметр $D$ , мм	Высота $T$ , мм	Диаметр отверстия $H$ , мм	Материал	Эскиз
30	7	6	Войлок	<i>Войлочный круг</i> 
45	9			
60	10			
80		10	Войлок, войлок с латунными включениями, ST, TH, TW, FL	
100	20		10	ST, TH, TW, FL
		Войлок, войлок с латунными включениями		
125	10	70	ST, TH, TW, FL	<i>Матерчатый круг</i> 
	20		Войлок, войлок с латунными включениями	
150	10	ST, TH, TW, FL		
	20	Войлок, войлок с латунными включениями		
	25	Войлок		
200	10	ST, TH, TW, FL		
	30	Войлок		

Условные обозначения: ST – сизалевый круг; TH – матерчатый круг твердый; TW – матерчатый круг мягкий; FL – фланелевый круг.

*Матерчатые полировальные круги* изготавливают из специальной хлопчатобумажной ткани. Выбор матерчатого круга зависит от требуемых результатов полирования. Если необходимо получить качественную поверхность, то следует использовать весь диапазон кругов, применяя их один за другим.

Достоинства тканевых кругов: высокая износостойкость ткани (незначительный, равномерный износ); хорошая сцепляемость с пастой и ее удержание; исключена возможность разрыва ткани при высоких частотах вращения круга.

Области применения: полирование пустотелых и рельефных деталей; автомобилестроение; приборостроение; машиностроение и производство технологических установок; обработка алюминия и дерева.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аргусов А.К., Дубова В.Т., Лавров В.А. Опыт внедрения абразивной, алмазной и эльборовской обработки в машиностроении. М.: Машиностроение, 1981. 45 с.
2. Бабичев А.П. Вибрационная обработка деталей. М.: Машиностроение, 1974. 133 с.
3. Боровский Г.В. Режущий инструмент из сверхтвердых материалов для автоматизированного производства // Эффективные технологические процессы изготовления режущих инструментов: Мат. семинаров. М.: МДНТИ, 1984. С. 131–139.
4. Головань А.Я., Грановский Э.Г., Машков В.Н. Алмазное точение и выглаживание. М.: Машиностроение, 1976. 30 с.
5. Иванов Ю.И., Носов И.В. Эффективность и качество обработки инструментами на гибкой основе. М.: Машиностроение, 1985. 87 с.
6. Орлов П.Н. Высокоэффективные способы абразивной доводки деталей // Станки и инструмент. 1984. № 5. С. 35–37.
7. Орлов П.Н., Сагателян Г.Р. Чистовые и отделочные методы механической обработки конструктивных материалов электронной техники. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1988. 35 с.
8. Орлов П.Н. Технологическое обеспечение качества деталей методами доводки. М.: Машиностроение, 1988. 384 с.
9. Прогрессивные методы хонингования // С.И. Куликов, Ф.Ф. Ризванов, В.А. Романчук, С.В. Ковалевский. М.: Машиностроение, 1983. 135 с.



## ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ

К *электрофизическим* относятся методы обработки, заключающиеся в изменении формы, размеров и шероховатости поверхности заготовки с применением электрических разрядов, магнитострикционного эффекта, электронного или оптического излучения, плазменной струи. Эти методы включают следующие виды обработки: электроэрозионную, ультразвуковую, лазерную, электронно-лучевую и др.

К *электрохимическим* относятся методы обработки, основанные на принципе анодного растворения металла в среде электролита.

### ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ

#### ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННАЯ ОБРАБОТКА

Электроэрозионная обработка (ЭЭО) заключается в изменении формы, размеров, шероховатости и свойств поверхности заготовки под воздействием электрических разрядов в результате электрической эрозии.

Электроэрозионная обработка является методом, в котором сьем металла производится посредством теплового воздействия импульсов электрического тока, возбуждаемых между обрабатываемой заготовкой и электродом-инструментом (ЭИ). В процессе обработки заготовка и ЭИ расположены на определенном расстоянии друг от друга, заполненном диэлектрической жидкостью. Диэлектрическую жидкость, заполняющую межэлектродный промежуток (МЭП), называют рабочей жидкостью (РЖ).

При ЭЭО между заготовкой и ЭИ с определенной периодичностью возбуждаются электрические разряды генератором импульсов (ГИ), в зоне действия которых происходит нагрев, плавление и частичное испарение материала. Под действием сил, возникающих в канале разряда, жидкий и парообразный материал выбрасывается из зоны разряда в РЖ и застывает в ней с образованием отдельных частиц. В месте действия каждого электрического разряда образуется лунка. Образующая-

ся в результате ЭЭО поверхность представляет собой совокупность большого количества лунок, форма и размеры которых определяют параметры шероховатости обработанной поверхности.

Метод ЭЭО обеспечивает возможность обработки электропроводных материалов любой твердости, прочности, вязкости и хрупкости, причем твердость ЭИ может быть ниже твердости обрабатываемого материала. Производительность обработки зависит от обрабатываемого материала, шероховатости получаемой поверхности, рабочей жидкости, электрического режима, площади обрабатываемой поверхности, а также других факторов.

Наилучшая точность обработки достигает 0,005 мм и зависит от применяемого оборудования, а параметр шероховатости поверхности  $Ra = 0,1...50$  мкм. Так как метод ЭЭО позволяет обрабатывать материалы любой твердости, то электроэрозионную обработку часто производят в деталях после операций термической обработки, что позволяет исключить коробления, возникающие после термообработки.

Основные термины и определения, связанные с ЭЭО, регламентируются ГОСТ 25331-82, согласно которому ЭЭО подразделяется на следующие виды: электроэрозионное вырезание, электроэрозионное прошивание, электроэрозионное объемное копирование, электроэрозионное маркирование, электроэрозионное шлифование, электроэрозионное упрочнение, электроэрозионная отрезка и ряд других.

*Электроэрозионное вырезание* — ЭЭО, при которой ЭИ в виде непрерывно перематываемой проволоки при движении подачи осуществляет обход заготовки по заданной траектории, образуя поверхность заданного контура (рис. 1). При этом угол наклона проволоки в процессе обработки может оставаться постоянным (двухкоординатная вырезка) или изменяться (четырёхкоординатная вырезка). В последнем случае верхняя направляющая проволоки имеет дополнительные независимые перемещения по двум координатам ( $D_U$  и  $D_V$ ) относительно нижней направляющей. В ре-

зультате четырехкоординатной вырезки получают конические детали, в том числе с переменным углом наклона образующей. Угол наклона образующей ( $\alpha$ ) может достигать  $30^\circ$  и зависит от конструкции станка и толщины обрабатываемой детали. Электроэрозионное вырезание выполняют на вырезных станках.

Электроэрозионное прошивание – ЭЭО, при которой ЭИ, углубляясь в заготовку, образует отверстие, паз, полость или углубление постоянного сечения. При этом возможно осуществлять сьем материала и формировать как внутренние (рис. 2, а), так и наружные поверхности (рис. 2, б). Электроэрозионное прошивание выполняют на специальных или специализированных прошивочных станках, а также на электроэрозионных копировально-прошивочных станках.

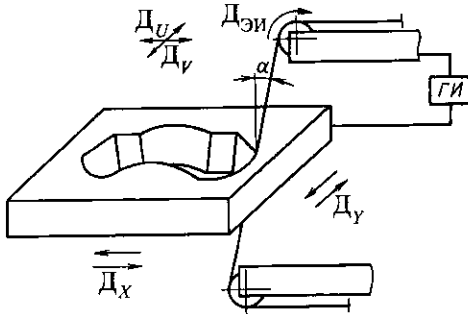


Рис. 1. Схема вырезной ЭЭО:  
 $D_{ЭИ}$  – движение (перемotka) электрода-инструмента;  $D_X, D_Y$  – движение заготовки или инструмента по осям  $X, Y$

Электроэрозионное объемное копирование – ЭЭО, при которой на электроде-заготовке формируется (копируется) инверсная форма поверхности электрода-инструмента (рис. 3). Электроэрозионное объемное копирование выполняют на электроэрозионных копировально-прошивочных станках.

Электроэрозионное маркирование – ЭЭО, при которой производится нанесение на изделие цифр, букв, знаков и другой информации. Электроэрозионное маркирование характеризуется высокой четкостью наносимых маркировочных знаков, обеспечивает их высокое качество, не вызывает деформации металла и не создает зоны концентрации напряжений, которые возникают при маркировании ударными клеймами. Глубина нанесения знаков лежит в пределах  $0,1...1$  мм, минимальная

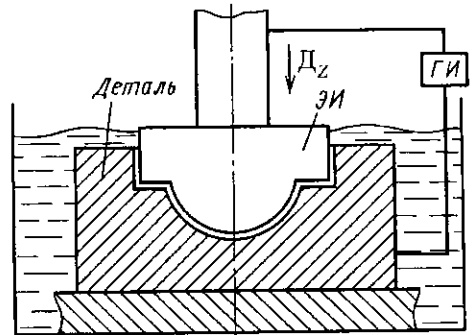


Рис. 3. Схема электроэрозионного объемного копирования

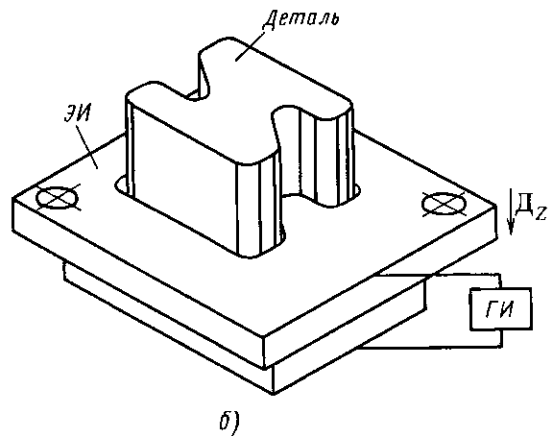
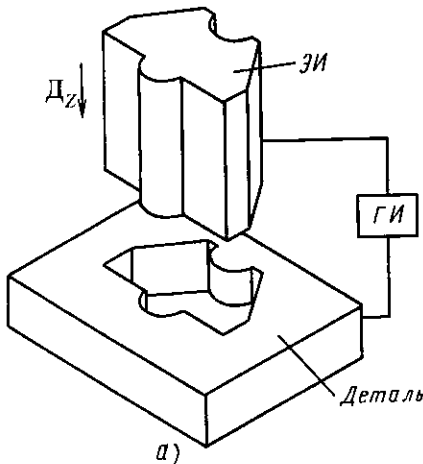


Рис. 2. Схема электроэрозионного прошивания:  
 а – внутренних поверхностей; б – внешних поверхностей

ширина линий знаков 0,1 мм. Износ ЭИ на один знак составляет от 0,005 до 0,5 мм.

*Электроэрозионное шлифование* – ЭЭО, при которой электродом-инструментом производится чистовая обработка формируемых поверхностей. Применяется для чистовой обработки труднообрабатываемых материалов, магнитных и твердых сплавов. В качестве ЭИ применяют металлические диски, проволоку и фасонные ЭИ.

*Электроэрозионное упрочнение* – ЭЭО, при которой увеличивается прочность поверхностного слоя заготовки. Электроэрозионное упрочнение применяется для изменения физико-химических свойств поверхностного слоя, восстановления изношенных участков деталей, легирования и наращивания поверхностей. Электроэрозионное упрочнение и легирование обычно осуществляют на воздухе или в газах. Расплавленные частицы электрода-инструмента взаимодействуют с поверхностью заготовки в месте прохождения электрического разряда. Происходит легирование поверхностного слоя заготовки материалом ЭИ.

*Электроэрозионная отрезка* – ЭЭО, при которой заготовка разделяется на части. При электроэрозионной отрезке применяют ЭИ в форме диска, пластины или проволоки.

Наиболее широко применяют следующие электроэрозионные операции.

*Копировально-прошивочная* операция применяется для обработки фасонных поверхностей, получения отверстий диаметром от 0,1 мм и более, изготовления щелей, пазов, криволинейных отверстий, нарезания резьбы, извлечения сломанного осевого инструмента, маркирования.

Копировально-прошивочные операции позволяют обрабатывать детали по 5 – 12-му качеству точности, с параметром шероховатости поверхности  $Ra = 0,1...50$  мкм. Однако существует ограничение по максимальной площади получаемой поверхности при значениях параметра шероховатости  $Ra < 0,8$  мкм. С увеличением площади обрабатываемой поверхности возрастает минимально возможное значение параметра получаемой шероховатости  $Ra$ .

Соотношение максимальная площадь обработки – наименьшее значение параметра шероховатости поверхности зависит от обрабатываемого материала, применяемого оборудования и может достигать около 100 см<sup>2</sup> для параметра шероховатости  $Ra = 0,1$  мкм и 900 см<sup>2</sup>

для  $Ra = 0,4$  мкм (для инструментальных сталей).

*Вырезная электроэрозионная операция* применяется для получения сложных сквозных полостей, изготовления рабочих поверхностей матриц и пуансонов разделительных штампов, резки заготовок из труднообрабатываемых материалов, обработки цанг, волок, фильер, вырезки сложных электродов-инструментов для копировально-прошивочных операций. Вырезные электроэрозионные операции позволяют обрабатывать детали с точностью 0,005...0,05 мм и параметром шероховатости поверхности  $Ra = 0,1...10$  мкм. Максимальная производительность на вырезных операциях составляет до 320 мм<sup>2</sup>/мин (для инструментальных сталей).

В качестве ЭИ, как правило, применяется непрерывно перематываемая проволока диаметром 0,1...0,3 мм из латуни. Применяют также проволоку из меди или латунную проволоку с цинковым покрытием. При необходимости получения ширины реза менее 0,12...0,15 мм применяют проволоку диаметром 0,01...0,1 мм из вольфрама или молибдена. Проволока перемещается относительно заготовки по заданной траектории с помощью систем числового программного управления (ЧПУ), при этом угол наклона проволоки в процессе обработки может изменяться, что позволяет получать детали с наклонной образующей.

*Отрезная электроэрозионная операция* применяется для резки труднообрабатываемых материалов, отрезки литников, прибылей и т.д. Иногда для выполнения операции отрезки применяют электроконтактную обработку (ЭКО), в которой использован электроэрозионный принцип обработки. ЭКО осуществляется вращающимся с большой скоростью (около 25 м/с) диском при постоянном токе в воде и переменном токе в воздушной среде. Между диском и обрабатываемой заготовкой возбуждаются прерывистые дуговые разряды. Напряжение питания до 50 В, мощность источника питания от десятков до сотен киловатт. Относительный износ инструмента-диска составляет 5...20 %.

Процесс ЭЭО характеризуется износом электрода-инструмента и наличием измененного слоя на обрабатываемой поверхности.

Поверхностный измененный слой по толщине можно условно разделить на следующие зоны (рис. 4): 1 – зону насыщения элементами рабочей жидкости; 2 – зону отло-

жения материала ЭИ; 3 – белый слой, образованный из расплавленного и впоследствии застывшего материала заготовки; 4 – зону термического влияния, в которой имели место структурные изменения материала заготовки; 5 – зону пластической деформации, образующейся вследствие силовых воздействий, возникающих из-за перемещения волны напряжений от расширения-сжатия металла при нагреве и охлаждении; от давления газового пузыря и других факторов; 6 – материал, не претерпевший изменений.

Последовательность зон, их количество, свойства и размеры зависят от обрабатываемого материала, режимов обработки, рабочей жидкости, материала ЭИ и других факторов. Между зонами нет четкой границы, а в большинстве случаев они перекрывают друг друга. Толщина измененного слоя для стальных заготовок составляет 0,003...0,1 мм (для чистовых и получистовых режимов); 0,1...0,4 мм (для черновых режимов). В белом слое могут легко образовываться сплавы компонентов материала заготовки с материалом ЭИ и элементами РЖ, например углеродом, образуются карбиды.

При ЭЗО импульсами высокой энергии и большой длительности в поверхностном слое возникают значительные внутренние напряжения, которые вызывают образование микротрещин. Наиболее склонны к образованию микротрещин хрупкие материалы, например твердые сплавы. При ЭЗО, как правило, используют импульсы большой силы тока и

низкого напряжения (амплитудные значения  $I_m$  – от единиц до нескольких тыс. ампер,  $U_m = 50...300$  В), при этом энергия импульсов  $W$  находится в пределах от нескольких микроджоулей до нескольких десятков джоулей, длительность импульсов  $t_i$  в пределах  $10^{-7}...10^{-1}$  с, скважность импульсов  $q = 1,2...30$ , а частота следования импульсов  $f = 50...1,5 \cdot 10^6$  Гц. Скважность – отношение периода импульсов к их длительности.

При ЭЗО электроэрозионному разрушению подвергаются как анод, так и катод, причем величина разрушения анода и катода различна и зависит от многих факторов: материала электродов, режима обработки, состава РЖ, формы электродов и т.д. Поэтому применяют два способа включения электродов: при *прямой полярности* ЭИ – катод, а заготовка – анод; при *обратной полярности* ЭИ – анод, заготовка – катод. Выбор полярности обусловлен необходимостью преобладания съема материала с заготовки над изнашиванием ЭИ. От величины износа ЭИ в значительной степени зависит точность обработки.

Износ ЭИ зависит от материала, из которого он изготовлен, от материала заготовки, от параметров импульсов, свойств применяемой РЖ, площади обработки, формы обрабатываемой поверхности и других факторов.

В практике ЭЗО наиболее часто пользуются понятием "объемный относительный износ электрода-инструмента", выражаемый в процентах, который представляет собой отношение объема разрушенной части ЭИ к объему материала заготовки, удаленных за одно и то же время. Объемный относительный износ колеблется в широких пределах (0,1...200 %) и зависит от вышеперечисленных факторов.

Наименьший износ ЭИ при копировально-прошивочных операциях получают при работе графитовыми или медными ЭИ, используя специальные группы режимов. В ряде специальных случаев для снижения износа и повышения точности обработки применяют ЭИ из вольфрама, молибдена и композиционных материалов. Минимальный объемный относительный износ ЭИ при обработке сталей может составлять до 0,1 %. При вырезных операциях износ ЭИ компенсируется постоянной перемоткой проволоки.

Материал и метод изготовления ЭИ (механическая обработка, гальванопластика, элек-

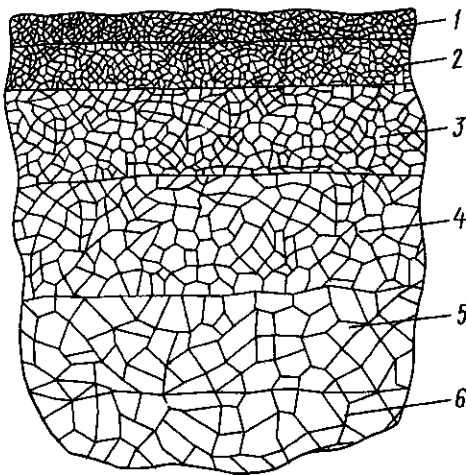


Рис. 4. Схематическое расположение зон поверхностного слоя, подвергнутого электроэрозионной обработке

троэрозийная вырезная обработка и др.) следует выбирать в зависимости от вида электроэрозийной операции, материала обрабатываемой детали, площади обработки, сложности формы обрабатываемой поверхности, ее точности, шероховатости, а также программы

выпуска деталей. В качестве материалов рабочей части ЭИ применяют медь, латунь, графитовые материалы, порошковые композиционные материалы, а также молибден, вольфрам и алюминиевые сплавы. Материалы рабочей части ЭИ и области их применения представлены в табл. 1.

### 1. Материалы для рабочей части ЭИ

Наименование материала	Марка	Область применения
Медь	М1, М2, М3 (ГОСТ 859-2001)	Все виды ЭЭО деталей из сталей и жаропрочных сплавов, изготовление ЭИ сложных форм
Латунь	ЛС59-1, Л63 (ГОСТ 15527-70 (в ред. 1999 г.))	Прошивание сквозных фасонных полостей в деталях из сталей, жаропрочных и твердых сплавов
Графитовые материалы	МПП-6, МПП-7, АРВ-2	Все виды ЭЭО деталей из сталей и жаропрочных сплавов
Алюминиевый сплав	Д1 (ГОСТ 4784-97 (в ред. 2001 г.))	Черновая обработка деталей из сталей и жаропрочных сплавов на никелевой основе
Вольфрам	ВНР	Прошивание отверстий диаметром 0,2...1,5 мм во всех материалах
Молибден	МНР	Прошивание отверстий диаметром 0,2...1,5 мм во всех материалах
Эльконайт (композиционный материал на основе вольфрама и меди)	ВМ-10, ВМ-20	Обработка деталей из твердых и тугоплавких сплавов; обработка точных малогабаритных деталей
Медь-нитрид бора (композиционный материал)	МНБ-3	Все виды ЭЭО деталей из твердых сплавов, титана, тугоплавких металлов и сплавов
Латунь (проволока диаметром 0,1...0,3 мм)	Л63 (ГОСТ 1066-90)	ЭЭО на вырезных станках сложноконтурных деталей из любых электропроводных материалов
Медь (проволока диаметром 0,1...0,3 мм)	М1, М2	ЭЭО на вырезных станках сложноконтурных деталей из любых электропроводных материалов
Вольфрам (проволока диаметром 0,04...0,1 мм)	ВА-1-Т (ГОСТ 18903-73 (в ред. 1987 г.))	ЭЭО на вырезных станках деталей из любых электропроводных материалов при необходимости получения реза шириной менее 0,12...0,15 мм
Молибден (проволока диаметром 0,04...0,1 мм)	МЧ-1-Т, МС-1-Г (ГОСТ 18905-73 (в ред. 1988 г.))	ЭЭО на вырезных станках деталей из любых электропроводных материалов при необходимости получения реза шириной менее 0,12...0,15 мм
Латунь с цинковым покрытием (проволока диаметром 0,2...0,3 мм)	~	ЭЭО на вырезных станках сложноконтурных деталей из любых электропроводных материалов

## 2. Рабочие жидкости для ЭЗО

Наименование рабочей жидкости	Температура вспышки, °С	Кинематическая вязкость $\nu \cdot 10^6$ , при 20 °С, м <sup>2</sup> /с	Содержание ароматических углеводородов, %	Назначение
Керосин	50...90	1,8	18...22	Станки малой мощности
Сырье углеводородное для производства сульфанола	64	3	5,5	
Смесь (керосин – масло индустриальное И-12А) ГОСТ 20799–88 (в ред. 2001 г.) в соотношении 1 : 1	62	5,8	22	Станки средней и большой мощности
Рабочая жидкость РЖ-3	80	3	5,5	Станки малой мощности
Рабочая жидкость РЖ-8	120	6...8,5	5,5	Станки средней и большой мощности
Вода	–	–	–	Вырезные станки

В качестве рабочих жидкостей для ЭЗО наибольшее распространение получили углеводородные жидкости различной вязкости и вода (табл. 2). В целях наиболее эффективного ведения процесса на чистовых и получистовых режимах, где малы межэлектродные промежутки, следует применять маловязкие рабочие жидкости с кинематической вязкостью при 20 °С  $\nu_{20} = (1,8...3)10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с, на черновых режимах наиболее эффективны жидкости с вязкостью  $\nu_{20} = (5...8,5)10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с.

При работе на электроэрозионных станках, использующих как черновые, так и чистовые режимы обработки, замену рабочей жидкости при переходе с черновых режимов на чистовые, как правило, не производят. Поэтому рабочую жидкость используют согласно мощности станка (см. табл. 2). Станками малой мощности условно считают станки любых типоразмеров, на которых используются рабочие токи  $I_{\text{ср}} = 0,5...65$  А; станками средней и большой мощности –  $I_{\text{ср}} = 10...250$  А.

Для проволочных вырезных станков в качестве РЖ, как правило, применяют деионизованную или техническую воду, иногда керосин.

Загрязнение РЖ продуктами эрозии заготовки и инструмента, а также твердыми элементами разложения рабочей жидкости приводят к ухудшению технологических показателей ЭЗО. В связи с этим РЖ в процессе обработки очищают. Система очистки рабочей жидкости и подачи ее в зону обработки состоит из бака, насоса и фильтра.

На электроэрозионных станках в основном используют специальные насосы центробежного типа. В качестве средств очистки рабочих жидкостей при ЭЗО применяют фильтры (с бумажными и тканевыми элементами), сепараторы и т.д. Тонкость очистки фильтров составляет около 5 мкм. Для прокачки РЖ через ЭИ применяют шестеренчатые насосы, развивающие давление 0,5...2,5 МПа при расходе РЖ 5...12 л/мин.

При прошивке глубоких отверстий малого диаметра (диаметр отверстий  $d = 0,3...3$  мм при глубине отверстий  $H = 100d...200d$ ) применяют прокачку РЖ через капиллярный канал трубчатого ЭИ. В этом случае используют насосы, развивающие давление до 15 МПа при малых расходах РЖ – до 0,2...0,5 л/мин.

Электроэрозионные станки выпускаются универсальными, специализированными и специальными.

По характеру выполняемых операций электроэрозионные станки подразделяются на копировально-прошивочные, вырезные, отрезные, электроконтактные и др. Наибольшее распространение получили вырезные и копировально-прошивочные станки. Основными элементами копировально-прошивочных станков являются: станина, инструментальная головка с устройством для закрепления и базирования ЭИ; механизм перемещения ЭИ с регулятором подачи и системой поддержания заданного межэлектродного промежутка; ванна с рабочей жидкостью; рабочий стол с при-

способностями для установки, базирования и закрепления обрабатываемых заготовок; система очистки РЖ и подачи ее в зону обработки; генератор импульсов. Современные копировально-прошивочные станки, как правило, оснащаются системами ЧПУ.

Основными элементами вырезных электроэрозионных станков являются: станина, рабочий стол с приспособлениями для установки, базирования и закрепления обрабатываемых заготовок; механизмы перемотки, натяжения и перемещения проволочного ЭИ относительно стола, включая системы наклона ЭИ относительно вертикальной оси и поддержания заданного межэлектродного промежутка; ванна с рабочей жидкостью; система очистки

РЖ и подачи ее в зону обработки; генератор импульсов; система ЧПУ.

Обработка на вырезных станках может осуществляться с погружением заготовки или без погружения – в струе РЖ. Выбор метода обработки определяется конструкцией станка. Вырезка в струе РЖ (без погружения заготовки) ограничивает технологические возможности вырезной ЭЭО, так как не позволяет делать или затрудняет вырезку деталей, имеющих внутренние полости, например, разрезать трубы, многослойные плиты с пустотами между слоями и т.д.

Технические характеристики копировально-прошивочных и вырезных станков отечественного производства приведены в табл. 3 и 4.

### 3. Технические характеристики универсальных электроэрозионных копировально-прошивочных станков

Параметр	4Л721Ф1	4Л723Ф3	4Л723Ф11А-01	СКЭКП4525
Размеры рабочей поверхности стола (длина × ширина), мм	360 × 250	630 × 400	630 × 400	450 × 250
Предельные размеры обрабатываемой заготовки (длина × ширина × высота), мм	280 × 250 × 120	550 × 400 × 275	550 × 400 × 275	—
Наибольшее расстояние от торца шпинделя до рабочей поверхности стола, мм	460	615	—	450
Количество управляемых осей координат	1	3*	1	1
Ход стола или инструмента (продольный × поперечный), мм	250 × 150	400 × 250	400 × 250	250 × 150
Рабочий ход шпинделя, мм	250	400	400	150
Наибольшая масса обрабатываемой детали, кг	200	800	—	30
Наибольшая масса электрода-инструмента, кг	30	100	50	18
Точность установки координат, мм	0,02	0,03	—	0,01
Наибольшая производительность при обработке деталей из стали 45, мм <sup>3</sup> /мин	550	1200	800	500
Наименьший параметр шероховатости обработанной поверхности при обработке деталей из стали 45, Ra, мкм	1	2,5	1	0,8
Наибольшая потребляемая мощность, кВт	8,8	17	—	8,15
Масса станка, кг	1545	3790	—	1250
Габариты станка (длина × ширина × высота), мм	2845 × 1700 × 2760	3350 × 2885 × 2960	3200 × 3240 × 2960	2000 × 1800 × 2200

\* Одновременное управление по двум осям координат.

## 4. Технические характеристики универсальных электроэрозионных вырезных станков

Параметр	A207.92M	A207.94	A207.79M	A207.90M	СКЭ200Ф2, СКЭ200Ф3 (4732Ф3M)	СКЭ250Ф3	СКЭ250Ф5	ВЭСТ-240-3	ВЭСТ-242-5
Наибольшие размеры обрабатываемой заготовки (длина × ширина × высота), мм	160 × × 250 × × 80	160 × × 250 × × 80	430 × × 270 × × 120	100 × × 63 × × 5	250 × × 160 × × 80	460 × × 410 × × 150	460 × × 410 × × 130	160 × × 250 × × 80	—
Наибольшая масса обрабатываемой заготовки, кг	30	30	120	—	45	150	150	—	—
Наибольшие размеры обрабатываемого контура (длина × ширина), мм	125 × × 200	125 × × 200	250 × × 250	50 × × 80	200 × × 125	250 × × 250	250 × × 250	125 × × 200	250 × × 250
Количество управляемых координат	3	5	3	3	3	3	5	2	2 (4)* <sup>4</sup>
Наибольший угол наклона электрода-проволоки, °	—	±7 (±20)* <sup>1</sup>	—	—	—	—	±7... ±30* <sup>3</sup>	—	— (±7)
Точность изготовления контура, мм	0,01	0,01	0,02	0,005	0,03	0,03	0,03	0,025	0,03
Наибольшая производительность при обработке деталей из стали, мм <sup>2</sup> /мин	30 (при Ra = 2,5 мкм)	30 (при Ra = 2,5 мкм)	35 (при Ra = 2,5 мкм)	0,5* <sup>2</sup>	40	50	50	30	60
Минимальная шероховатость обработанной поверхности при обработке деталей из стали, Ra, мкм	—	—	—	—	0,8	0,8	0,8	1	1
Диаметр электрода-проволоки, мм	0,05... 0,25	0,1... 0,25	0,1... 0,3	0,01... 0,015	0,1... 0,3	0,1... 0,3	0,1... 0,3	0,03... 0,3	0,03... 0,3
Рабочая жидкость	Вода водопроводная			Вода деионизованная	Вода водопроводная				



Окончание табл. 4

Параметр	A207.92M	A207.94	A207.79M	A207.90M	СКЭ200Ф2, СКЭ200Ф3 (4732Ф3M)	СКЭ250Ф3	СКЭ250Ф5	ВЭСТ-240-3	ВЭСТ-242-5
Наибольшая потребляемая мощность, кВт	3	3	3,5	1,5	—	—	—	—	—
Габариты станка (длина × ширина × высота), мм	1900× ×750× ×1630	190× ×750× ×1630	2500× ×950× ×1770	1500× ×750× ×1600	2300× ×1050× ×1800	2850× ×1860× ×1940	2850× ×1860× ×1950	2524× ×800× ×1950	3300× ×2300× ×1950
Масса станка, кг	945	945	1545	645	1600	2230	2230	1050	1700

\*<sup>1</sup> Максимальный угол наклона электрода-проволоки без гарантий точности и производительности.

\*<sup>2</sup> Толщина заготовки 1 мм, электрод-проволока диаметром 0,01 мм, параметр шероховатости поверхности  $Ra = 0,6$  мкм.

\*<sup>3</sup> Максимальный угол наклона электрода-проволоки в зависимости от высоты заготовки.

\*<sup>4</sup> Количество управляемых координат зависит от исполнения станка.

В России электроэрозионное оборудование производят ГНПП "Исток" (Фрязино, Московская область) – вырезные стайки серии А.207; ОАО Завод "Станкоконструкция", (Москва) – вырезные станки СКЭ200Ф2/Ф3, СКЭ250Ф3, СКЭ250Ф5 и копировально-прошивочные 4Л721Ф1, 4Л723Ф3, СКЭКП4525; ОАО "Троицкий станкостроительный завод" (Троицк, Челябинская область) – копировально-прошивочные станки 4Л721Ф1-01, 4Л723Ф11А-01, 4Л723Ф3-02; ОАО ЦНИТИ (Москва) – вырезные станки ВЭСТ 242-3, ВЭСТ 242-5 и ряд других производителей.

В отечественной промышленности все более широко применяются электроэрозионные станки зарубежного производства. Среди зарубежных производителей электроэрозионного оборудования наибольшее распространение в России получили станки фирм Sodick и Mitsubishi (Япония), AGIE и Charmilles Technologies (Швейцария). Технические характеристики некоторых станков зарубежного производства представлены в табл. 5 и 6.

Одним из основных элементов любого электроэрозионного станка является генератор импульсов (ГИ), назначением которого является преобразование электрической энергии переменного тока промышленной частоты в вы-

соочастотные импульсы электрического тока с заданными параметрами. При расчете и выборе генератора исходят из условия получения формы, длительности, энергии и других параметров импульса, необходимых для обеспечения требуемых технологических показателей процесса. Черновую и чистовую обработку обычно производят при помощи одного и того же генератора.

При ЭЭО используются различные по конструкции ГИ – полупроводниковые (транзисторные, тиристорные), ламповые, машинные. Наибольшее распространение в последнее время получили транзисторные ГИ, имеющие широкий диапазон режимов, удовлетворяющий требованиям черновой, получистовой и чистовой обработки. Кроме транзисторных в отечественной промышленности в составе вырезных стайков достаточно широко используются тиратронные генераторы (А671.58) и тиристорные (ГКИ-250, ГКИ-300).

Технические характеристики отечественных транзисторных генераторов серии ШГИ (широкодиапазонные генераторы импульсов), использующихся в отечественной промышленности в составе копировально-прошивочных станков, представлены в табл. 7, генераторов, использующихся в вырезных станках, – в табл. 8.

5. Технические характеристики универсальных электроэрозионных копировально-прошивочных станков зарубежного производства

Параметр	AGIE (Швейцария)			CHARMILLES (Швейцария)			MITSUBISHI (Япония)			SODICK (Япония)		
	Agiton Advance 2	Agiton Advance 4	Agiton Impact 2	Robotom 22	Robotom 35	Robotom 55	EA8	EA12	EA22	AQ35L	AQ55L	AQ75L
Размеры рабочей поверхности стола (длина × ширина), мм	400 × 300	870 × 550	600 × 450	400 × 300	500 × 400	750 × 500	550 × 350	700 × 500	850 × 600	600 × 400	750 × 550	900 × 750
Предельные размеры обрабатываемой заготовки (длина × ширина × высота), мм	630 × 400 × 165	1100 × 750 × 370	650 × 580 × 250	940 × 530 × 30	780 × 400 × 300	1220 × 870 × 400	740 × 470 × 150	900 × 550 × 250	1050 × 700 × 300			
Наибольшие перемещения по осям (X, Y, Z), мм	300, 250, 250	700, 500, 400	350, 250, 350	300, 250, 250	350, 250, 300	600, 400, 450	300, 250, 250	400, 300, 300	500, 400, 350	350, 250, 250	550, 400, 350	700, 500, 350
Наибольшая масса обрабатываемой заготовки, кг	200	2000	400	200	500	1600	550	700	1000	550	1000	2000
Наибольшая масса электрода-инструмента, кг	25	120	100	25	50	100	25	50	100	20	20	100
Количество управляемых осей координат	4			4			4			3(4)		
Магазин электродов / количество электродов	Да/4	Да/15-22	Да/—	Да/4-32			Да/6-48			Да/4-50		
Максимальный рабочий ток, А	64	64 (128)	72 (104)	32 (64)	64	64 (128)	60	60 (100)	60 (100)	40 (80)	160; 240	775
Объем гидроагрегата, л	380	830	415	248	450	825	196	340	570	275	475	775
Наибольшая производительность при обработке деталей из стали медным / графитовым электродом-инструментом, мм <sup>3</sup> /мин	380/500	380/500 (1000)	450/530 (900)	—			—			—/600		
Минимальная шероховатость поверхности при обработке деталей из стали, Ra, мкм	0,2			0,4 (0,1)			—			0,06		
Наибольшая потребляемая мощность, кВт	11			8,3			6,8			8		
Масса станка, кг	3430	4200	3200	900	2800	3800	1200	1800	4000	3400	4700	11 000
Габариты станка (длина × ширина × высота), мм	1715 × 1485 × 2360	2050 × 1800 × 2868	2690 × 1855 × 2593	1460 × 1370 × 2460	1900 × 1690 × 2400	2900 × 2720 × 2900	1460 × 1717 × 2000	1470 × 1860 × 2265	1985 × 2200 × 2375	1540 × 2065 × 2602	1740 × 2750 × 2905	2200 × 3000 × 2900

Примечание. Значения в скобках — дополнительные опции.

6. Технические характеристики универсальных электродрозонных вырезных станков зарубежного производства

Параметр	AGIE (Швейцария)			CHARMILLES (Швейцария)			MITSUBISHI ELECTRIC (Япония)*1			SODICK (Япония)		
	Agicut Classic 2	Agicut Classic 3	Agicut Evolution 2	Robot II 190	Robot II 240	Robot II 390	FA10	FA20	FA30	AQ25L	AQ35L	AQ750L
Наибольшие размеры обрабатываемой заготовки (длина × ширина × высота), мм	750 × 550 × 250	1050 × 650 × 250	750 × 550 × 250	700 × 300 × 150	1000 × 550 × 220	980 × 730 × 250	800 × 600 × 215	1050 × 800 × 295	1300 × 1000 × 345	600 × 400 × 220	700 × 500 × 300	1050 × 750 × 400
Наибольшая масса обрабатываемой заготовки, кг	450	800	200	200	750	1000	500	1500	3000	300	680	1500
Наибольшие размеры обрабатываемого контура (длина × ширина), мм	350 × 250	500 × 350	350 × 250	250 × 160	350 × 220	400 × 300	350 × 250	500 × 350	750 × 500	350 × 250	550 × 350	750 × 500
Наибольшие перемещения по осям U/V, мм	±35			—	350/220	±30	±32/±32	±75/±75		±40/±40		770/520
Наибольший угол наклона электрода-провода, ° (при толщине заготовки, мм)	30(100)			30 (менее 100); 10 (более 100)	30 (220)	15(110)	15 (100)	15 (260)		20 (80)		30 (400)
Точность изготовления контура, мкм	±6		±3	—	—	—	±3 (исполнение V)			±2,5		±3
Наибольшая производительность при обработке деталей из стали, мм <sup>2</sup> /мин	300		—		300		300 (500 – исполнение V)			305; 540*2		305
Минимальная шероховатость поверхности при обработке деталей из стали, Ra, мкм	0,3; 0,2*2		0,2		0,28		0,25 (исполнение P) 0,55 (исполнение M и V)			0,2; 0,1*2		0,2

Окончание табл. 6

Параметр	AGIE (Швейцария)			CHARMILLES (Швейцария)		MITSUBISHI ELECTRIC (Япония)*1			SODICK (Япония)			
	Agicut Classic 2	Agicut Classic 3	Agicut Evolution 2	Roboti 190	Roboti 240	Roboti 390	FA10	FA20	FA30	AQ325L	AQ35L	AQ750L
Диаметр электрода-провода-ки, мм	0,2...0,33; 0,1*2; 0,15*2			0,1...0,3		0,25; 0,1*2; 0,2*2; 0,3*2	0,2...0,3; 0,1*2; 0,15*2			0,15...0,3		
Система автоматической заправки проволоки	Да			Нет	Да		Да			Да		
Вид обработки	В струе			В струе	С погру-жением	В струе	С погружением			С погружением		
Рабочая жидкость	Вода деионизованная			Вода деионизованная		Вода деионизованная			Вода деионизованная			
Наибольшая потребляемая мощность, кВт	-			10		13,5			13			
Габариты станка (длина x ширина x высота), мм	1640x x2040x x2220	1940x x2300x x2220	-	1660x x1580x x2085	2020x x2050x x2000	1950x x2550x x2000	1975x x2075x x1980	2580x x2650x x2150	3475x x3140x x2250	1650x x2225x x2080	1950x x2435x x2355	2050x x2650x x2300
Масса станка, кг	2800	3680	-	2250	2450	3250	2600	4150	5400	3000	4200	5000

\*1 Станки выпускаются в трех исполнениях: М – стандартное; V – с повышенной производительностью; P – с повышенной точностью.

\*2 Дополнительные опции.

## 7. Технические характеристики транзисторных генераторов импульсов серии ШГИ

Параметр	ШГИ-16-880Б	ШГИ-40-440А	ШГИ-63-440	ШГИ-63-44/2	ШГИ-80 × 2-88М	ШГИ-125-100М
Частота следования импульсов, кГц	3...880	8...440	1...440	1...44	1...88	0,4...100
Максимальный средний ток, А	16	40	63	63 × 2	80 × 2	125
Максимальная производительность при обработке медным ЭИ заготовки из стали 45, мм <sup>3</sup> /мин	90	300	500	1000	1500	1100
Наименьшая шероховатость обработанной поверхности стали 45, Ra, мкм	0,25	0,5	0,5	3...4	2	1,2
Наибольшая потребляемая мощность, кВт	2	4	6	6 × 2	—	—
Масса генератора, кг	150	430	500	—	—	—
Габариты генератора (длина × ширина × высота), мм	400× ×600× ×1600	1000× ×600× ×1550	1100× ×600× ×1700	—	—	—

## 8. Технические характеристики генераторов импульсов для вырезных станков

Параметр	ГКИ-250	ГКИ-300	ЛЭ717	А671.58
Частота следования импульсов, кГц	8; 22	8; 22; 44; 88; 200	8; 22	8; 12; 18
Максимальная амплитуда тока в импульсе, А	250	290	240	—
Длительность импульсов, мкс	4...7	1... 3,4	2...6	1...5
Максимальная производительность при обработке латунным ЭИ заготовки из стали высотой 30...40 мм, мм <sup>2</sup> /мин	30	40	—	30
Напряжение питающей сети, В	380	380	380	220
Число фаз питающей сети	3	3	3	1
Масса генератора, кг	170	300	35	250
Габариты генератора (длина × ширина × высота), мм	400×600×1400	600×600×1800	550×190×500	600×650×1200

Электроэрозионные станки должны эксплуатироваться в строгом соответствии с требованиями техники безопасности. На каждом рабочем месте обязательно должен быть электроизоляционный коврик под ноги. Во время работы оборудования не следует касаться частей, находящихся под напряжением (электрода, электрододержателя, рабочего стола). Наладку, установку заготовки и инструмента следует осуществлять только при выключенном генераторе импульсов. При использовании генератора с емкостным накопителем следует разрядить батарею конденсаторов специальным разрядником с изолирующей ручкой. Запрещается снимать или открывать во время работы станка предохранительные щитки, проводить измерения, установку и снятие деталей без выключения напряжения на электродах и разрядки конденсаторов.

При использовании углеводородных рабочих жидкостей ЭЭО должна осуществляться при достаточном погружении обрабатываемой детали в жидкость, слой которой над зоной обработки должен составлять 20...200 мм в зависимости от режимов обработки.

На случай воспламенения жидкости необходимо иметь вблизи станка углекислотные огнетушители (применение щелочных огнетушителей запрещается). Вытяжная вентиляция от станков должна быть автономной и отдельной от общей вентиляционной системы.

### УЛЬТРАЗВУКОВАЯ РАЗМЕРНАЯ ОБРАБОТКА

Ультразвуковая размерная обработка (УЗРО) применяется для формообразования сложных поверхностей (полостей, отверстий, щелей и т.д.) в деталях из твердых хрупких материалов (стекла, кварца, керамики, ситаллов, рубина, алмазов и т.д.), обработка которых другими методами затруднена.

Сущность УЗРО состоит в разрушении поверхностного слоя обрабатываемого материала от ударов абразивных зерен, находящихся между поверхностями заготовки и инструмента, колеблющегося с частотой  $f = 18...25$  кГц.

Источником механических колебаний ультразвуковой частоты является магнитострикционный или пьезоэлектрический преобразователь. Свойства основных магнитострикционных материалов приведены в табл. 9,

а пьезоэлектрических – в табл. 10. Источником синусоидального электрического сигнала, подаваемого на магнитострикционные или пьезоэлектрические преобразователи, являются ультразвуковые генераторы, основные разновидности которых приведены в табл. 11.

Для установок с пьезоэлектрическими преобразователями применяют полупроводниковые генераторы с фиксированной (неизменной) рабочей частотой, имеющие основные технические характеристики, показанные в табл. 12.

### 9. Характеристики магнитострикционных материалов

Параметр	Никель НО	Пермендюр		Альфери Ю-14
		К49Ф2	К-65	
Магнитострикционная деформация, см ( $\times 10^{-6}$ )	35	70	90	40
Точка Кюри, °С	360	980	820	500
Скорость звука, м/с ( $\times 10^3$ )	4,78	5,2	5	4,75
Удельная мощность, Вт/см <sup>2</sup>	50... 80	90... 100	90... 100	60... 80
Электрические потери, кВт/кг	2,8	0,8	2,75	1,17

### 10. Характеристики пьезоэлектрических материалов

Параметр	Пьезо-кварц	Пьезокерамика	
		Титанат бария	Цирконат-титанат свинца (9ЦТС)
Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,65	5,3	7,8
Точка Кюри, °С	576	120	330
Скорость звука, м/с ( $\times 10^3$ )	5,7	4,4	2,9

## 11. Основные технические характеристики ультразвуковых генераторов

Параметр	УЗГ8-0,1/22	УЗГ3-0,4	УЗГ5-1,6/2	УЗГ1-4	УЗГ2-4	УЗГ2-10
Выходная мощность, кВт	0,1	0,4	1,6	4,5	4,5	10
Потребляемая мощность, кВт	0,28	1,1	4,2	7,5	6,4	19
Рабочая частота, кГц	18 ± 1,35; 22 ± 1,65	17,5...9,3; 20,4...23; 38,5...45	22 ± 1,65	17,5...19,3; 20,5...23,5	17,5...19,3; 20,5...23,5	—
Ток подмагничивания, А	3...7	2...8	0...25	15...30	15...30	0...30
Габаритные размеры, мм:						
в плане	370 × 380	385 × 630	540 × 650	580 × 720	580 × 720	760 × 800
высота	230	330	1280	1350	1350	1870
Масса, кг	22	50	260	300	250	630

## 12. Полупроводниковые генераторы

Параметр	УЗГ4-0,1	УЗП-0,25	УЗГ10-1,6
Выходная мощность, Вт	100	250	1600
Потребляемая мощность, Вт	150	400	2000
Рабочая частота, Гц	18 ± 1,35	18 ± 1,35	18 ± 1,35

В настоящее время ламповые ультразвуковые генераторы вытесняются полупроводниковыми генераторами, имеющими лучшие характеристики и повышенную надежность.

При ударе ультразвукового инструмента по зернам абразива наиболее крупные из них выкалывают микрочастицы обрабатываемого материала. Инструмент прижимают к обрабатываемой поверхности с некоторой статической силой  $P_{ст} = 0,5...50$  Н. Материал снимается наиболее интенсивно в направлении удара и в меньшей степени — на боковых поверхностях получаемого профиля. Зерна абразива вводятся в зону обработки в виде абразивной суспензии, которая содействует удалению из рабочего зазора продуктов разрушения материала обрабатываемого изделия и инструмента. В качестве

абразива применяют карбиды бора, кремния, алмазные порошки и электрокорунд (табл. 13) зернистостью 3...10 по ГОСТ 3647-80.

В качестве жидкости, несущей абразив, применяется вода, обладающая невысокой вязкостью, хорошей смачиваемостью и хорошими охлаждающими свойствами.

Влияние рода жидкой фазы абразивной суспензии на производительность показано в табл. 14.

Абразивная суспензия подается в зону обработки свободно, под давлением или отсасывается из зоны через отверстия в инструменте или заготовке. Инструменты изготавливают из сталей У10А, 40Х, 45, 65Г, 12Х18Н9 и других, относительный износ которых находится в пределах 0,5...50 %.

Минимальная амплитуда колебаний инструмента 10...20 мкм, а максимальная (из-за опасности усталостного разрушения инструмента) ~ 40...60 мкм.

УЗРО применима в основном для твердых хрупких материалов; хуже этим методом обрабатываются твердые сплавы. УЗРО обеспечивает наибольшую производительность при обработке деталей из стекла (до 5000 мм<sup>3</sup>/мин) при параметре шероховатости обработанной поверхности  $Ra = 0,32...0,63$  мкм.

Наиболее эффективным способом повышения обрабатываемости твердых сплавов и

## 13. Характеристика абразивных материалов

Абразивный материал	Состав	Относительная режущая способность	Плотность, г/с <sup>3</sup>	Твердость		Микро-твердость
				по Моосу	по Ридж-вею	
Алмаз	C	1	3,48...3,56	10	15	10 000
Карбид бора	B <sub>4</sub> C	0,5...0,6	2,5	9	14	4300
Карбид кремния	SiC	0,25...0,45	3,12...3,22	9	13	3200
Электрокорунд	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1...2 % окиси хрома)	0,14	3,2...4,9	9	12	2500

## 14. Влияние рода жидкой фазы абразивной суспензии на производительность УЗРО

Жидкость	Относительная производительность
Вода	1,00
Бензин, керосин	0,70
Спирт	0,57
Машинное масло	0,30
Льняное или трансформаторное масло	0,28
Глицерин	0,03

других электропроводящих материалов является ультразвуковая электрохимическая обработка. Производительность такой обработки твердых сплавов в 50 раз выше производительности электроэрозионной обработки и в 10 раз выше производительности ультразвуковой обработки, достигая 400...800 мм<sup>3</sup>/мин, параметра шероховатости  $Ra = 1,25$  мкм и точности

0,06 мм. Кроме того, в 8...10 раз снижается износ инструмента, в 3...5 раз уменьшается энергоемкость процесса, представляется возможным заменить карбид бора значительно более дешевым абразивом – карбидом кремния.

УЗРО используют для обработки таких материалов, как германий, кварц, керамика, рубин, сапфир, стекло, титанат бария, фарфор, ферриты, турмалин, ситалл и других, из которых изготовляют детали полупроводниковых и оптических приборов, кварцевые резонаторы, фильтры, изоляторы, различные платы, корпуса, излучатели, детали счетно-решающих машин и запоминающих устройств. Кроме того, этот метод используют для изготовления пресс-форм, вырубных, вытяжных штампов, фильер, волок и фасонных резцов в сочетании с электроэрозионной и ультразвуковой электрохимической обработкой.

С помощью УЗРО осуществляют разрезание заготовок на пластинки, вырезание из пластин деталей различной формы и размеров, изготовление отверстий, щелей, полостей, шлифование, фрезерование, точение, нарезание резьбы, гравирование и маркирование. Характеристики основных операций УЗРО приведены в табл. 15.

## 15. Характеристика основных операций УЗРО

Операция	Инструмент	Размеры обрабатываемой поверхности	Точность, мм	Параметр шероховатости поверхности $Ra$ , мкм	Станки
Разрезание	Ножевидный или проволочный с толщиной режущей части 0,08...0,5 мм	Диаметры заготовок 1...50 мм; толщина получаемых пластин 0,08...1 мм	0,03...0,1	1,25...3,5	МЭ-68; 4770; 4А771П, 4771 и др.



Окончание табл. 15

Операция	Инструмент	Размеры обрабатываемой поверхности	Точность, мм	Параметр шероховатости поверхности Ra, мкм	Станки
Изготовление сквозных и глухих отверстий	Сплошной и трубчатый с толщиной стенок 0,5 мм	Диаметр отверстий 0,2...80 мм; глубина до 20...30 мм	0,01...0,03; овальность 0,005...0,02	1,25...2,5	4770;4771; 4772А; 4Б772; 4Б773; 4Д772; 4А771П и др.
Обработка сложных поверхностей деталей из твердых сплавов	Профильный	Обрабатываемая площадь до 750 мм <sup>2</sup>	0,03...0,06	0,63...1,25	4772Э; 4Д772ЭК; 4Д772ЭМ
Гравирование, маркирование	Непрофилированный – стальная проволока диаметром 0,2...0,3 мм; профильный	Глубина рисунка 0,2...0,4 мм	0,02...0,04	1,25...2,5	У32-0,1-Г; У3-45; 4А771П; 4Д772
Чистовая обработка алмазных волок	Вращающаяся игла	Диаметр канала 0,12...2,0 мм; глубина обработки 6 мм	0,01...0,02	0,08...0,16	МЭ-22; МЭ-32; МЭ-76
Сверление глубоких отверстий	Вращающийся алмазный	Диаметр 1...20 мм; глубина до 40 мм	±0,04	1,25...2,5	МЭ-77; МЭ-332; 4А771П

### 16. Сравнительная обрабатываемость материалов

Материал	Относительная обрабатываемость, %	Износ стального инструмента, %
Стекло	100	0,5...1,0
Мрамор	250	0,2...0,4
Титанат бария	100...120	0,5...1,0
Германий	100...150	0,5
Ситалл	90...100	0,8...1,0
Кремний	75...100	1,0
Ферриты	75	1,5
Агат	50...75	1,0...1,5
Кварц	50	1,5...2,0
Минералокерамика	20...25	4,0...5,0
Рубин, сапфир	10...20	10...15
Твердые сплавы	2,5	40
Конструкционные стали	1,0	100
Алмаз	До 0,5	500...1000

Производительность УЗРО зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала, зернистости и материала абразива, состава абразивной суспензии и способа ее подвода в зону обработки, амплитуды и частоты колебаний инструмента, давления его на обрабатываемую заготовку, подводимой к инструменту акустической мощности, площади и глубины обработки. В табл. 16 приведена сравнительная обрабатываемость материалов ультразвуковым методом.

Из всех используемых видов абразива наибольшую производительность обеспечивает карбид бора, за исключением алмаза, который применяется редко, в основном для обработки деталей из твердых сплавов и драгоценных камней. Электрокорунд и карбид кремния пригодны для обработки деталей из стекла, керамики и других менее прочных материалов.

С увеличением глубины обработки производительность снижается вследствие ухудшения условий обмена в рабочей зоне абразивной суспензии и удаления продуктов реза-

ния. Улучшение условий обработки достигается периодическим подъемом инструмента в процессе обработки; применением полого инструмента с толщиной стенки 0,3...0,5 мм; нагнетанием или вакуумным отсосом абразивной суспензии из зоны резания, что повышает производительность обработки.

Концентрация абразива в суспензии составляет 30...45 % при свободной подаче ее в зону обработки и 15...25 % при подаче под давлением или отсосе. Давление суспензии при нагнетании рекомендуется задавать в пределах 0,1...0,25 МПа.

Оптимальное давление инструмента, соответствующее наибольшей скорости обработки при подаче абразивной суспензии поливом, составляет при обработке стекла 0,1 МПа, а для твердого сплава 0,2 МПа.

Наибольшая производительность обработки достигается только на оптимальной для каждой конкретной мощности станка обрабатываемой площади (табл. 17).

Основное влияние на точность УЗРО оказывает стабильность рабочего зазора между стенками детали и инструмента. Боковой зазор зависит от зернистости абразива, глубины обработки, износа инструмента, наличия поперечных колебаний инструмента и примерно в 1,5 раза больше среднего размера зерен абразива основной фракции. Для повышения точности обработки осуществляют коррекцию размеров инструмента, которая на черновых операциях при использовании абразивов зернистостью 8–12 составляет 0,2...0,3 мм, на чистовых операциях при обработке абразивами 3–M40 около 0,08...0,10 мм. При УЗРО возникают также неточности геометрической формы: конусообразность, овальность, скругления поверхности на входе инструмента в деталь и сколы на выходе его из детали. Скругления исключают последующим шлифованием, а сколы – подклейкой перед обработкой дополнительной детали (например, стеклянной пластинки). Конусообразность уменьшают применением более мелкого абразива, нагнетанием абразивной суспензии, калибровкой контура неизношенной частью инструмента.

Достижимые при УЗРО точность размеров 0,005...0,02 мм, точность расположения поверхностей  $\pm 0,005$  мм и конусообразность 15...20' при использовании абразивных зерен размером 30...40 мкм.

Шероховатость поверхности зависит от величины абразивных зерен, свойств обраба-

тываемого материала, амплитуды и шероховатости поверхности инструмента. Шероховатость снижается с уменьшением размеров зерна и с увеличением твердости материала; шероховатость дна глухих отверстий на 1,5...6 мкм меньше, чем шероховатость боковых стенок. Использование мелких зерен и небольшой амплитуды обеспечивает получение параметра шероховатости для многих материалов  $Ra = 0,32...2,5$  мкм.

При УЗРО деталей из твердого сплава и закаленной стали происходит упрочнение поверхностного слоя и возникают сжимающие остаточные напряжения. Поверхностный слой хрупких неметаллических материалов содержит трещиноватый слой, глубина которого примерно в 4 раза больше высоты микронеровностей поверхности. Основные параметры качества обработки отверстий представлены в табл. 18.

Ультразвуковые станки делят на две группы: переносные (обычно малогабаритные) установки небольшой мощности (30...50 Вт) и стационарные. К первой группе относят ручную ультразвуковую станок УЗ-45 мощностью 0,2 кВт, который предназначен для гравирования, маркирования и прошивания отверстий на небольшую глубину. Наибольшее применение получили стационарные универсальные ультразвуковые станки с вертикальным расположением оси акустической головки. Универсальные ультразвуковые станки состоят из генератора, акустической головки (обычно с магнитострикционным преобразователем), механизмов подачи головки и создания статической нагрузки инструмента на заготовку, стола для закрепления деталей, системы подвода абразивной суспензии, устройства для измерения глубины обработки. Технические характеристики универсальных ультразвуковых станков приведены в табл. 19.

### 17. Оптимальные обрабатываемые площади при УЗРО

Акустическая мощность станка, кВт	Площадь, мм <sup>2</sup>		Наибольший диаметр обрабатываемых отверстий, мм
	оптимальная	наибольшая	
0,1	40...50	80	20
0,4	100...200	300	40
1,4	500...1000	1200	80

## 18. Качество обработки отверстий

Зернистость абразива по ГОСТ 3647-80 (в ред. 1995 г.)	Размер зерен абразива, мкм	Боковой зазор, мм	Точность обработки, мм	Конусность отверстия при глубине 12...15 мм	Параметр шероховатости поверхности Ra, мкм		Вершина коррекции инструмента, мм
					боковой	торцевой	
10	85...105	0,28...0,36	+0,04	3°	20	12	0,33
		0,33...0,37	±0,02	40'...45'			0,35
5	46...63	0,22...0,26	+0,02	2°	2,5	1,63	0,24
		0,24...0,26	±0,015	30'			0,25
3	28...42	0,11...0,13	+0,01	1°	1,25	0,32	0,12
		0,13...0,14	±0,005	15'...20'			0,14

Примечание. В числителе приведены данные при подаче абразивной суспензии поливом, в знаменателе – при нагнетании абразивной суспензии.

## 19. Технические характеристики универсальных ультразвуковых станков

Параметр	4770	4771	4772Д	4Б772	4А771П	4Д772	4Б773
Мощность генератора, кВт	0,25...0,4	0,4	1,6	1,6	0,4	1,6	4,0
Рабочая частота, кГц	18	18	22	22	18	22	18
Наибольший диаметр обрабатываемого отверстия, мм	15	15	80	80	20	80	100
Габариты (длина × ширина) или диаметр стола, мм	125 × 165	250	300	300	160	320	320
Частота вращения, мин <sup>-1</sup> : стола	–	10	2 и 4	2 и 4	350; 2500	–	2 и 4
инструмента	–	300	–	–	–	3; 7	–
Производительность обработки, мм <sup>3</sup> /мин:							
стекла	До 300	До 1300	До 4000	4000	1500	5000	9000
твердого сплава	До 8	До 20	До 50	300	15	50	1000
алмазным инструментом по стеклу	–	–	–	–	3000	–	–
Точность обработки, мм	±0,04	±0,025	±0,025	±0,025	±0,005	±0,02	±0,025
Габариты станка (длина × ширина × высота), мм	500× ×380× ×550	1200× ×750× ×1875	1360× ×1060× ×2080	1360× ×1060× ×2080	1400× ×785× ×1800	4260× ×1950× ×1850	1500× ×1300× ×2200

Станок 4А771П (повышенной точности) имеет вращающийся шпindel и стол, перемещающийся по двум координатам. Станки, в названии которых содержится буква Э, могут вести обработку токопроводящих деталей комбинированным способом (ультразвуковым и электрохимическим). На данных станках применяют абразивонесущий электролит следующего состава: 65 % воды; 15 % NaNO<sub>3</sub>; 19 % NaNO<sub>2</sub>; 19 % абразива.

## ЛАЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА

Лазерная обработка основана на применении мощного светового потока, вызывающего плавление или испарение обрабатываемого материала. Средняя плотность потока в поперечном сечении лазерного луча достигает 10<sup>14</sup> Вт/см<sup>2</sup>. Размерная обработка материалов значительной толщины осуществляется при плотностях потока более 10<sup>7</sup>...10<sup>8</sup> Вт/см<sup>2</sup>, а

сварка и резка тонких пленок при плотностях менее  $10^6$  Вт/см<sup>2</sup>. Основными элементами лазера являются рабочее вещество, система накачки, оптический резонатор, элемент вывода энергии из резонатора и другие дополнительные элементы (фокусирующая оптическая система, система управления и др.), зависящие от назначения лазера.

В зависимости от агрегатного состояния рабочего вещества различают твердотельные, газовые и жидкостные лазеры. В отдельную группу выделяют полупроводниковые лазеры, так как характер генерации лазерного луча в них существенно отличается от генерации в обычных твердотельных лазерах.

Различают следующие способы накачки: оптическую (облучение рабочего вещества светом определенной частоты), электрическую (прохождение тока через рабочее вещество) и

химическую (инверсия возникает в результате химической реакции). Для газовых лазеров применяют все способы накачки, для полупроводниковых – электрическую или оптическую, а для твердотельных – оптическую.

В зависимости от режима работы различают лазеры, работающие в непрерывном режиме, в импульсном режиме с длительностью импульса  $10^{-3} \dots 10^{-6}$  с, режиме гигантских импульсов с длительностью  $10^{-7} \dots 10^{-9}$  с и так называемом режиме синхронизации мод, при котором длительность импульса составляет  $10^{-10} \dots 10^{-12}$  с.

Для технологических целей применяют твердотельные и газовые лазеры (табл. 20), которые могут работать как в непрерывном, так и в импульсном режиме. Однако первый характерен для газовых лазеров, второй – для твердотельных.

20. Параметры лазеров, применяемых для технологических операций

Рабочее вещество	Длина волны, мкм	Режим работы	Мощность излучения, Вт	Частота следования импульсов, Гц	Длительность импульса	Область применения
Рубин	0,6943	Импульсный	1...20 (средняя)	1	0,3...6 мс	Сварка, обработка отверстий
	–	С модуляцией добротности	$10^5$ (пиковая) $10^8$	1	0,3...2 мс	То же
	–	–	–	1	5...50 нс	Испарение
Иттриево-алюминиевый гранат (ИАГ)	–	Непрерывный	1...1100	–	–	Испарение, сварка, резка
	1,06	Импульсный	1...100 (средняя)	1...100	0,01...5 мс	Сварка, обработка отверстий
	–	С модуляцией добротности	$500 \dots 5 \cdot 10^6$ (пиковая)	$(1 \dots 10) \times 10^3$	150... 300 мс	Испарение
Стекло с неодимом (Nd)	1,06	Импульсный	1...15 (средняя)	1	0,5...10 мс	Сварка, обработка отверстий
	–	С модуляцией	106 (пиковая)	$30 \text{ мин}^{-1}$	0,5...1 мс	Резка, обработка отверстий
	–	Непрерывный	$5 \dots 10 \cdot 10^3$	$5 \text{ мин}^{-1}$	10...60 нс	Испарение
Смеси газов CO <sub>2</sub> -N <sub>2</sub> -H <sub>2</sub>	–	Непрерывный	$5 \dots 10 \cdot 10^3$	–	–	Резка, сварка, термическая обработка
	10,6	Импульсный	1...250 (средняя)	$1 \dots 1 \cdot 10^3$	5...150 мкс	Обработка отверстий
	–	С модуляцией добротности	$10^4$ (пиковая)	200...500	30...300 мс	Испарение, сварка
Аргон (Ar)	–	Непрерывный	1...15	–	–	–
	0,48; 0,51	Импульсный	1...25 (средняя)	$1 \dots 1 \cdot 10^3$	5...100 мкс	Испарение

Основными характеристиками лазерного излучения являются энергия излучения, длина волны, длительность и форма импульсов, расходимость пучка. Диапазон длин волн, генерируемых различными типами лазеров, составляет примерно 0,1...70 мкм. Для технологических целей используют лазеры, у которых длина волны находится в пределах 0,4...10,6 мкм.

Средняя мощность импульсного излучения твердотельных лазеров достигает сотен киловатт, а газовых в непрерывном режиме генерации – до 6...10 кВт и более. Для осуществления размерной обработки используют импульсы с длительностью не более 1,5 мс.

Лазерный луч применяют для прошивки отверстий, резки материалов, маркирования, сварки, поверхностной термической обработки и других операций. Лазерным методом изготавливают отверстия диаметром  $d$  от нескольких микрометров до нескольких десятков миллиметров, глубиной  $H$  до 13...15 мм в таких труднообрабатываемых материалах, как титановые, твердые, жаропрочные и специальные сплавы, магнитные материалы, алмазы, ферриты, керамика и т.п. Отверстия изготавливают в волоках, фильерах, форсунках, часовых камнях, в ферритовых пластинках памяти, днафрагмах, в подложках микросхем и других деталях.

Для изготовления отверстий применяют одноимпульсное и многоимпульсное прошивание. При одноимпульсной обработке отверстие формируется за один импульс и имеет глубину не более 5 мм; точность диаметра – 9–11-й класс, продольных размеров – 11–13-й класс; параметр шероховатости поверхности  $Ra = 0,32...2,5$  мкм; глубина измененного

поверхностного слоя 0,02...0,1 мм. Геометрия отверстия зависит от энергетических параметров луча, положения фокуса оптической системы относительно поверхности заготовки, фокусного расстояния этой системы и теплофизических свойств обрабатываемого материала. Отверстия имеют почти цилиндрическую форму и наибольшую глубину при положении фокуса лазерного луча на поверхности заготовки. В остальных случаях (фокус выше или ниже поверхности заготовки) наблюдается изменение формы продольного сечения отверстия от конической до параболической.

При многоимпульсной обработке отверстия получают с помощью коротких импульсов с малой энергией, величина которой определяет точность, шероховатость поверхности и глубину измененного поверхностного слоя. По мере углубления отверстия заготовка смещается навстречу лучу. Процесс обеспечивает глубину отверстий до 15 мм, точность диаметра 9-го качества при  $\frac{H}{d}$  до 50 и 7–8-го качества при  $\frac{H}{d} < 1$ .

Многоимпульсный режим широко применяется для обработки неметаллических материалов и тонких пленок металлов; при этом отверстия могут иметь не только круглое сечение, но и профильное.

Параметры многоимпульсной обработки отверстий с помощью твердотельных и  $CO_2$ -лазеров представлены в табл. 21 и 22. Технические характеристики лазерных установок для прошивки отверстий приведены в табл. 23.

**21. Режимы многоимпульсной лазерной обработки отверстий в деталях из различных материалов**

Материал	Параметры отверстия, мм			Режим обработки			
	Диаметр	Глубина	Точность обработки	Энергия, Дж	Длительность импульса, с, $\times 10^4$	Плотность потока, Вт/см <sup>2</sup>	Число импульсов на отверстие
Керамика	0,2	3,2	–	1,4	5	$4 \cdot 10^6$	40
		1,0	0,03	1,6	10	$5 \cdot 10^6$	1
Коррозионно-стойкая сталь	0,05	1,2	–	0,2	0,9	$1,2 \cdot 10^8$	12
		0,1	$\pm 0,002$		0,8	$1,5 \cdot 10^8$	1...5
Латунь	0,03	0,1	$\pm 0,0015$	0,05	1,0	$4 \cdot 10^7$	1...3
		0,2	1,0		$\pm 0,004$	0,3	1,0
Феррит	0,05	1,0	$\pm 0,005$	0,05	0,9	$6 \cdot 10^7$	10
		0,1	0,5				0,2

### 22. Параметры обработки отверстий в деталях из различных металлов с помощью CO<sub>2</sub>-лазеров

Металл	Толщина, мм	Диаметр отверстия, мм		Энергия лазера, Дж	Продолжительность обработки, мс
		входного	выходного		
Коррозионно-стойкая сталь	0,65	0,25	0,15	1,0	10 импульсов 2,35
	0,9	0,5	0,25	5,9	
Никелевая сталь	1,78	0,3	0,22	16,0	0,8
Вольфрам	0,5	0,2	0,15	3,3	2,0
			0,2	4,0	2,1
Магний	1,6	0,35	0,2	2,1	1,8
		0,4	0,3	3,3	2,0
Молибден	0,5	0,25	0,2	3,3	2,0
			0,25	5,9	2,35
Тантал	1,6	0,3	0,15	5,9	2,35
			0,1	8,0	2,42

### 23. Технические характеристики лазерных установок для обработки отверстий

Модель установки и назначение	Энергия излучения, Дж	Частота следования импульсов, Гц	Длительность импульса, мс	Параметры отверстия, мм		Мощность установки, кВт	Габаритные размеры (длина × ширина × высота), мм
				Диаметр	Глубина		
Светолучевой станок 4222 для обработки отверстий и щелей	До 2	2; 4; 8	0,1...0,5	0,020...0,2 Ширина щели 0,050...0,150	До 4 До 1,5	3	1200×500× ×1245
Светолучевой станок 4222Ф2 с ЧПУ для обработки отверстий по координатам	До 2	—	0,1...0,4	0,020...0,200	До 4	3	Станка 1100× ×650×1245; шкафа ЧПУ 300×400×1000
Квант-9 для прошивания отверстий	До 10	1	0,2... 0,75	Одноимпульсный режим 0,005...0,4 Многоимпульсный до 0,8	До 1	2	1150×700× ×1200
					3		
Квант-9М	До 10	0,1...3	0,5	До 2	3	—	—
Кристалл-7 для прошивания отверстий в инструментальной оснастке	0,1...5	0,5...10	0,150... 0,200	0,05...0,4	До 4	45	1700×900× ×1500
Кристалл-6 для обработки отверстий и щелей	0,5...4	0,5...20	—	0,1...0,6; ширина щели 0,05...0,2	До 3	4,5	1250×950× ×1300
Корунд для обработки отверстий в часовых камнях	0,1...0,5	4...10	0,050... 0,075	0,05...0,1	0,3...1	1,5	1200×600× ×1400

Резка неметаллических материалов и металлов осуществляется преимущественно на ИАГ- и CO<sub>2</sub>-лазерах. Для повышения эффективности процесса, особенно при резке материалов значительной толщины, применяют поддув в зону резания активного или нейтрального газа. Газолазерная резка (ГЛР) позволяет разрезать неметаллические материалы толщиной до 20...50 мм, а металлы – толщиной до 13...15 мм; при этом ширина реза в пределах 0,1...1 мм. Скорость резки листовых материалов прямо пропорциональна мощности излучения лазера, обратно пропорциональна толщине материала, его теплопроводности и площади фокального пятна (табл. 24). Газолазерная установка "Катунь" с мощностью излучения 800 Вт обеспечивает раскрой материалов по заданной программе со скоростью до 20 м/мин и точностью обработки 1...2 мм.

#### 24. Скорость резки материалов при ГЛР

Материал	Толщина, мм	Мощность излучения, Вт	Скорость резки, м/мин
Низкоуглеродистая сталь	1,0	100	1,6
	0,5	250	0,635
	1,2	400	4,6
	2,2	850	1,8
Инструментальная сталь	3,0	400	1,7
Коррозионно-стойкая сталь	1,0	100	0,94
	0,5	250	2,6
	1,3	400	4,6
	2,5	400	1,27
	3,2	400	1,15
	9,0	850	0,36
Титан	4,7	20 000	1,27
	0,6	250	0,2
	1,0	600	1,50
	0,5	850	3,24
Асбоцемент	6,3	200	0,025
Картон	19,0	200	0,1
Мулар	0,025	300	300
Текстиль	0,45	400	50
Кварц	2,0	400	1,0
Стекло	9,53	20 000	1,52
Оргстекло	1,5	400	3,0
»	12,7	20 000	4,6
Стеклопластик	2,4	200	0,635
Фанера	17,0	500	0,5
»	25,4	8000	1,5
Нейлон	0,8	200	5,0
Кожа	3,2	200	0,635

Технические характеристики станков для лазерной резки приведены в табл. 25, а технические данные типовых лазеров, применяемых в составе этих станков, приведены в табл. 26 и 27.

Для лазерного раскроя деталей, формованных из листового материала и имеющих сложную пространственную форму, применяют лазерные станки для трехмерной обработки. Технические характеристики трехмерной пятикоординатной технологической системы лазерного раскроя модели TRUMPF TLC CUT 5 следующие:

#### Зона обработки по координатам:

X .....	3000 мм
Y .....	1500 мм
Z .....	600 мм
B .....	±100°
C .....	360°

#### Скорость перемещения по координатам:

X .....	50 м/мин
Y .....	50 м/мин
Z .....	30 м/мин
B .....	360°/с
C .....	360°/с

#### Точность позиционирования:

Дискретность перемещения .....	1 мкм
Систематическая погрешность .....	0,1 мм
Случайная погрешность .....	0,03 мм
Система управления .....	Sinumeric 840D

Характеристики лазера ..... См. табл. 27

Базовые таблицы для трехмерной обработки ..... 1000×1000×  
×700 мм

Занимаемая площадь ..... 7500×3600 мм

Применение лазеров для обработки хрупких материалов позволяет обеспечить безотходное разрезание заготовок на детали. Характеристики лазера для безотходной резки производства ОАО "САПФИР":

Обрабатываемый материал ... Стекло,  
керамика, сапфир,  
кварц, кремний

Скорость разрезания, м/с ..... до 2

Толщина разрезаемого материала, мм ..... 0,03...30

Минимальная длина резания, мм ..... 0,03

Ширина резания, мм ..... 0

Мощность лазерного излучения, Вт ..... 20...200

25. Технические характеристики станков для лазерной резки

Параметр	Модель						
	МЛЗ-2*1 МЛЗ-3	АРЕЛЛОШ*2 2510V	TULO-01*3 TULO-01M	КЛТ-01*3	6000L-1300*4 6000L-1600	L 3030*4 L 4030 L 6030	L1-3015*5 L1-4015 L2-3015
Длина волны излучения, мкм	1,064	10,6 (CO <sub>2</sub> -лазер)	1,064			10,6 (CO <sub>2</sub> -лазер)	
Мощность лазера, кВт	0,25...0,30 0,45...0,50	1,5...3,0	0,4...0,5 0,5...1,0	0,5	2,0; 2,7; 3,2; 4,0	2,0 / 2,5 / 3,0	
Частота следования импульсов, Гц	До 200	-	См. табл. 26	1...300	См. табл. 27	-	
Точность позиционирования, мм	±0,05	±0,1	±0,05	±0,01	±0,1	±0,03	
Габариты обрабатываемых деталей (размеры координатной системы), мм	850×1250	5000×1270 (ось X 2500 ось Y 1270)	2000×1000 3000×1500	600×600	3085×1280 3085×1650	3048×1524 4064×1524 3048×1524	
Максимальная толщина обрабаты- ваемого материала, мм:	5...8 3...4 - -	6,4...12 - - -	4...10 2...7 - -	До 6 - - -	До 8 - - -	3...10 4...15 12...20 -	0,5...20 0,5...6 - 0,5...6
Масса станка, т	-	16,7	-	-	16,0 22,5	-	-

Пр и м е ч а н и е. Производители: \*1 НПЦ "Лазеры и аппаратура ТМ"; \*2 AMADA (Япония); \*3 ОАО АК ТУЛАМАШЗАВОД; \*4 TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG (Германия); \*5 Salvagnini (Италия).



## 26. Технологические Nd: YAG-лазеры

Модель	Мощность, кВт	Частота, Гц	Длительность импульса, мс
МЛТ – 100	0,1	5000...50 000	0,001...0,005
МЛТИ – 200	0,2	1...1000	0,1...50
МЛТИ – 500	0,5	1...1000	0,1...50
МЛТ – 500	0,5	Непрерывный режим	–
МЛТ – 1200	1,0		0,1...50

27. Технологические CO<sub>2</sub>-лазеры

Параметр	Модель				
	TLF 2000	TLF 2700	TLF 3200	TLF 4000	
Гарантированная максимальная мощность лазера, кВт	2,0	2,7	3,2	4,0	
Частота следования импульсов, кГц	0,1...10 (с шагом 10 Гц)				
Расход газов, л/час лазерный газ:	500...2000				
CO <sub>2</sub>					1
N <sub>2</sub>					6
He					3
газ для резки O <sub>2</sub>	500...2000				
Потребляемая мощность, кВт	23...45	25...54	27...56	33...67	

## ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ОБРАБОТКА

Электронно-лучевыми называются методы, в которых для технологических целей используется тепловая энергия, выделяющаяся при столкновении быстро движущихся электронов с обрабатываемым материалом. Процесс осуществляется в глубоком вакууме; при этом плотность тепловой энергии  $10^3...10^9$  Вт/см<sup>2</sup>. Для размерной обработки материалов плотность тепловой энергии  $p_0 = 10^6...10^7$  Вт/см<sup>2</sup>, диаметры электронных лучей  $d_{\lambda} = 0,5...500$  мкм. Преимущества процесса: возможность широкого регулирования режимов и точного управления тепловыми процессами; пригодность для обработки металлических и неметаллических материалов; повышение чистоты среды при обработке; высокий КПД (до 98 %); возможность автоматизации процесса. Недостатки процесса: необходимость защиты от рентгеновского излучения; относительно высокая стоимость и сложность оборудования; необходимость глубокого вакуума.

Для обработки применяют высоковольтные электронно-лучевые установки с анодным напряжением  $U_a = 80...150$  кВ и небольшой мощности (до 1 кВт), которые обеспечивают силу тока  $I = 0,3...20$  мА. Во время технологического процесса в рабочей камере установки

поддерживается давление не более  $1,3 \cdot (10^{-2}...10^{-3})$  Па, что достигается применением диффузионных насосов в сочетании с механическими.

При размерной обработке наиболее целесообразным является импульсный режим воздействия луча на материал. На практике используют длительности импульсов от 1 мкс до 0,01 с при частоте следования импульсов от единиц до  $10^4$  Гц.

Процесс применяют для получения отверстий цилиндрической или фигурной формы диаметром  $d_{отв} = 2...500$  мкм, тонких пазов, щелей размерами от нескольких до десятков микрометров в материалах малой толщины, а также для резки. Глубина  $H$  отверстий, пазов при обработке металлов не превышает 2 мм, а диэлектриков – 15 мм. Для устранения остаточных напряжений и расстрескивания обработку диэлектриков проводят с предварительным или сопутствующим нагревом заготовки, а также с последующим отжигом их. Проштые отверстия имеют конусность, величина которой зависит от расположения луча относительно поверхности заготовки и составляет  $1...5^\circ$ . При небольших глубинах обработки диаметр отверстия на 10 % больше диаметра луча, а при  $\frac{H}{d_{отв}} \geq 100$   $d_{отв} = 4d_{\lambda}$ .

Скорость съема  $Q$  материала на черновых режимах достигает 20...30 мм<sup>3</sup>/мин, а на чистовых – 1 мм<sup>3</sup>/мин; точность обработки находится в пределах 5...20 мкм; параметр шероховатости обработанной поверхности  $Ra = 0,8...3,2$  мкм.

Этим способом обрабатывают детали из твердых сплавов, алмазов, кварца, стекла, титана, вольфрама, ферритов, полупроводниковых и других труднообрабатываемых материалов.

Технологические параметры операций размерной обработки электронным лучом в область их применения приведены в табл. 28.

**28. Технологические параметры операций электронно-лучевой размерной обработки**

Операция	Материал заготовки	Параметры обработки	Область применения	Примечание
Прошивание отверстий	Рубин, сапфир	$U_a = 150$ кВ; $p_0 > 10^8$ Вт/см <sup>2</sup> ; $I = 1$ мА; $Q = 0,01$ мм <sup>3</sup> /мин	Подшипниковые качения часов	Предварительный нагрев заготовок до 1500 °С
	Металлы, стекло, керамика, ферриты	$U_a = 60...150$ кВ; $I = 0,2...20$ мА При одноимпульсной обработке $d_{отв} = 0,02...0,08$ мм; $H$ до 5 мм; $Q \leq 40$ мм <sup>3</sup> /мин. При многоимпульсной обработке $d_{отв} = 0,02...2$ мм; $H$ до 15 мм	Фильтры, сопла газовых горелок, сита, каналы охлаждения турбин и т.д.	В немагнитных материалах можно выполнять криволинейные каналы с помощью наложения магнитных полей
Фрезерование	Металлы, графит, стекло, керамика, синтетические и другие материалы	При импульсной обработке $U_a = 50...150$ кВ; $I = 1...100$ мА; ширина паза до 10 мкм	Сопла для прядения, фильеры и т.д.	—
Резка	Бумага, синтетическая фольга	$U_a = 80$ кВ; $I = 1,5$ мА; скорость резки до 50 м/с и выше; ширина реза до 25 мкм	—	Материалы с покрытием или без покрытия

В промышленности для размерной обработки наибольшее применение получили установки типа ЭЛУРО, а также установки, разработанные в Институте электросварки им. Е.О. Патона. На данном оборудовании дополнительно можно осуществлять микро-сварку, пайку, а в некоторых случаях разметку, локальное легирование и осуществлять программное управление от ЭВМ перемещениями стола, отклонением электронного луча и его параметрам.

**ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА**

Электрохимическая обработка (ЭХО) основана на принципе анодного растворения металла в растворе электролита.

Технологические показатели ЭХО слабо зависят от физико-механических свойств обрабатываемого электропроводного материала (анода), процесс не сопровождается изнашиванием рабочего инструмента (катода), на обработанной поверхности отсутствуют наклеп, остаточные напряжения, заусенцы. Удельный съём металла колеблется в пределах 50...200 мм<sup>3</sup>/(А · ч) при анодном выходе по току 40...100 %. Параметр шероховатости обработанной поверхности после ЭХО находится в пределах  $Ra = 0,035...6,3$  мкм. Наряду с отмеченными преимуществами ЭХО обладает недостатками: высокой энергоёмкостью (5...25 кВт · ч/кг), относительно низкой точно-

стью обработки (9–11-й качества), необходимостью надёжной антикоррозионной защиты элементов электрохимических станков.

ЭХО применяют для формоизменения сложных поверхностей (штампов, турбинных и компрессорных лопаток, корпусов, пресс-форм и др.); прошивания и калибрования отверстий; удаления заусенцев; маркирования; шлифования, полирования, отрезки и других операций при обработке труднообрабатываемых электропроводных материалов (высокопрочных и коррозионно-стойких сталей, жаропрочных, титановых, магнитных и твердых сплавов, полупроводниковых и других материалов).

Характеристики основных операций ЭХО представлены в табл. 29. Электрохимическое формоизменение поверхностей осуществляется

## 29. Характеристики основных операций ЭХО

Вид обработки	Режим						Технологические показатели			
	Напряжение, В	Плотность тока, А/см <sup>2</sup>	Межэлектродный промежуток, мм	Давление электроплита, МПа	Скорость подачи электроплита, м/с	Скорость съема, мм/мин	Точность, мм	Ra, мкм		
Профилирование пера турбинных и компрессорных лопаток (длина пера до 1250 мм)	6...24	5...50	0,1...0,5	0,5	10...30	0,1...1,2	0,1...0,5	0,63...2,5		
Обработка ковочных штампов, пресс-форм	4...30	15...200	0,03...0,3	0,3...2	10...35	0,1...3,50	0,1...0,5	0,2...2,5		
Прошивание отверстий	6...30	20...250	0,02...0,5	0,5...3	5...35	0,3...8,0	0,05...0,15	0,63...5,0		
Обработка вращающимся электродом-диском	5...30	25...300	0,01...0,05	0,05...0,2	20...35*1	0,1...8,0	0,01...0,08	0,32...0,63		
Точение	6...24	50...200	0,2...0,6	0,2...0,5	8...25	0,2...5,0	0,05...0,3	0,32...2,5		
Электрохимическое калибрование	6...35	5...50	0,15...1,5	0,3...1,5	15...30	До 9	0,05...0,2	0,32...2,5		
Снятие заусенцев и округление острых кромок	6...24	5...25	H+(0,1...0,3)	0,05...0,8	0,2...0,8	—	—	1,25...2,5		
Маркирование	3...16	2...40	0,01...0,05	0...0,15	—	0,5...15*2	—	0,005...0,5*3		
Отрезка заготовок электродом-диском	9...20	30...400	0,03...0,15	0,05...0,4	20...50*1	0,5...12	0,1...2,0	0,8...5,2		
Конгурное вырезание проволоочным электродом-инструментом	8...35	25...400	0,02...0,2	0,4...2,5	10...50	0,2...8,0	0,02...0,1	0,2...1,25		

\*1 Окружная скорость электрода-диска. \*2 Время обработки, с. \*3 Глубина клеймения, мм.

Примечание. H — высота заусенца, мм.

непрофилированным ЭИ, частично профилированным или профилированным инструментом. В первом случае необходимый профиль обрабатываемой поверхности получается при заданной кинематике движения проволочного электрода-инструмента, вдоль которого подается струя электролита. Способ применяют для получения узких щелей, пазов; а также чистовых операций отрезки различных труднообрабатываемых материалов и жестких деталей.

При обработке частично профилированным электродом необходимую форму поверхности детали обеспечивает определенный профиль электрода-инструмента и заданная кинематика его перемещения (например, при ЭХО вращающимся инструментом).

Наибольшее распространение получили методы ЭХО профилированным электродом. Обработка поверхностей в этом случае осуществляется вследствие копирования сложной формы инструмента при его поступательном перемещении. При этом рабочая часть инструмента представляет собой негативный профиль детали (рис. 5).

Важным требованием является обеспечение заданной точности копирования поверхности электрода, на что влияют такие технологические параметры, как межэлектродный промежуток (МЭП), напряжение, скорость течения и тем-

пература электролита, его состав и другие факторы. В зависимости от сложности и размеров профиля точность обработки профилированным инструментом составляет 0,10...0,5 мм. Для повышения точности обработки до 0,02...0,1 мм применяют вибрацию электрода-инструмента, импульсный рабочий ток, малые межэлектродные промежутки, стабилизируют параметры процесса, локализуют место обработки и корректируют рабочую часть инструмента (табл. 30).

При ЭХО в качестве электролитов используют водные растворы неорганических солей (NaCl, NaNO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и др.), реже кислот и щелочей (табл. 31).

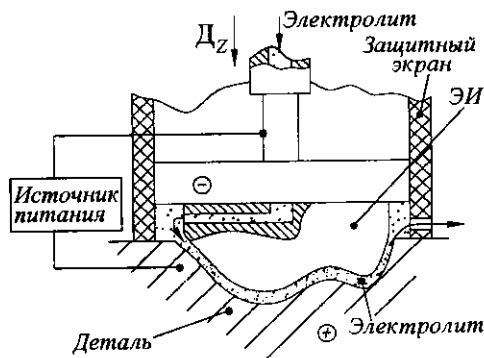


Рис. 5. Схема ЭХО профилированным электродом

30. Способы повышения точности электрохимического формообразования

Способ повышения точности	Точность, мм	Примечание
Стабилизация параметров процесса: напряжения, скорости подачи инструмента, температуры и электрической проводимости электролита и входе в межэлектродный промежуток в пределах 1,0...5 %	0,02...0,1	Трудность стабилизации электрической проводимости и напряжения мощных источников
Введение газа в электролит. Объем газа в электролите не более 50 %	(±0,05)...(±0,1)	Повышается качество поверхности, несколько снижается скорость съема металла. Необходима система подачи газа
Применение электролитов NaClO <sub>3</sub> , NaClO <sub>4</sub>	0,06...0,1	Для обработки сталей
Обработка при малых МЭП 0,02...0,1 мм	0,02...0,05	Применяют импульсное напряжение, периодическую промывку МЭП, что снижает производительность. Необходима система защиты от коротких замыканий между электродами
Вибрация электродов с частотой до 21 к Гц	(±0,03)...(0,05)	Применяют импульсное напряжение; производительность снижается, повышается качество обработки
Шаговая корректировка профиля инструмента	0,05...0,15	Высокая трудоемкость; необходимо проводить большое число экспериментов

## 31. Электролиты для ЭХО деталей из различных материалов

Материал	Состав электролита (водный раствор)	Температура электролита, °С	Параметр шероховатости получаемой поверхности $R_a$ , мкм
Стали, серый чугун, магнитные сплавы и сплавы на основе Ni, Co, Mo, Ti, Cu, Al, Zn и др. Стали, серый чугун, алюминий, сплавы на основе Al, Cu, Ni, Co, Mo	5...20 % NaCl	18...30	0,2...5
	10...30 % NaNO <sub>3</sub>		0,15...2,5
Ниобий и его сплавы	15 % KBr, 20 % KOH	20...40	0,7...2
Никелевые сплавы	(15...20) % NaBr	20...30	1,2...1,4
	15 % NaNO <sub>3</sub> , 7 % NaCl		0,4...0,6
Молибден и его сплавы	(15...25) % KOH	20...40	0,35...0,5
	(20...30) % NaNO <sub>3</sub>		0,16...0,3
Титан и его сплавы: BT3 – I; BT9; BT14  BT5 – I; OT4 – I; BT9; BT14  BT20; BT22	4,8 % KNO <sub>3</sub> , 1,26 % KBr, 4,8 % NaCl, 0,45 % Na <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	20...30	0,6...2,5
	6,5 % KNO <sub>3</sub> , 3,4 % KBr + 6,9 % NaCl		
	11,5 % KNO <sub>3</sub> , 8 % NaCl		
	10 % KBr, 10 % NaCl	18...40	0,63...2,5
	7 % NaCl, 14 % NaNO <sub>3</sub>	20...35	0,16...0,63
Алюминий и его сплавы	(15...30) % NaNO <sub>3</sub> , 25 % NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	40...50	0,32...0,63
	(10...20) % NaClO <sub>3</sub> , (10...20) % NaNO <sub>3</sub>	30...40	0,32...0,8
	30 % NaNO <sub>3</sub> , 3 % NaCl	40...45	0,16...1,25
Вольфрам и его сплавы	(10...15) % KOH, (0,25...1) % глицерина	16...25	0,08...0,16
	10 % NaOH	20...30	0,04...0,32
Танталовые сплавы	(15...20) % NaOH	20...40	0,63...2,5
Магниевые сплавы Твердые сплавы типа ВК и ТК	(5...10) % NaNO <sub>3</sub> ,	20...40	0,16...0,63
	(5...6) % NaNO <sub>3</sub> ,	30...50	0,32...0,63
	(1...2) % NaNO <sub>2</sub> , (0,4...0,5) % N <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , (1...2) % глицерина	(переменный ток, материал инструмента – графит)	

Удельная электрическая проводимость электролитов находится в пределах 0,01...0,04 См·мм<sup>-1</sup>, а их температура в интервале 4...60 °С.

Электрохимическую обработку осуществляют неподвижным и подвижным электродами. Обработку неподвижными электродами применяют при электрохимическом полирова-

нии и удалении заусенцев (безразмерная обработка), клеймении и маркировании (размерная обработка при малых МЭП и глубине обработки). При обработке подвижными электродами МЭП поддерживается постоянным путем сближения электродов на величину, равную толщине удаленного металла.

Линейную скорость съема металла, равную скорости подачи катода-инструмента, рассчитывают по уравнению

$$v_{np} = v_k = 0,1 \frac{i - [(+\Delta\phi_a) + (-\Delta\phi_k)]}{\delta} \chi \epsilon_V \eta,$$

где  $i$  – напряжение, подаваемое на электроды (деталь и инструмент), В;  $[(+\Delta\phi_a) + (-\Delta\phi_k)]$  – падение напряжения на межфазовых границах между электродами и электролитом, В;  $\delta$  – межэлектродный промежуток, мм;  $\chi$  – удельная электрическая проводимость электролита, См · см<sup>-1</sup>;  $\epsilon_V$  – объемный электрохимический эквивалент, мм<sup>3</sup> · А<sup>-1</sup> · мин<sup>-1</sup>;  $\eta$  – выход по току.

В целях обеспечения стабильности процесса и высокого качества обработки из межэлектродного промежутка в результате движения электролита непрерывно удаляют газобразные и нерастворимые продукты электрохимической реакции.

Интенсивный обмен электролита необходим также для отвода тепла, выделяемого при его нагреве в рабочей зоне. Процесс протекает нормально, если перепад температуры по длине МЭП не превышает 10...15 °С, для чего необходимо обеспечить расход электролита 0,30...35 см<sup>3</sup>/с на 1 А тока.

Необходимые расход  $Q$  и скорость течения электролита в зазоре  $w$  следующие:

$$Q = \frac{ul}{\Delta T c_p \rho_s}; \quad w = \frac{i_a^2 l}{\chi \rho_s c_p \left[ \Delta T + \frac{\alpha(\Delta T)}{2} \right]},$$

где  $\alpha$  – температурный коэффициент удельной электрической проводимости электролита;  $l$  – длина межэлектродного промежутка;  $I$  – ток;  $\Delta T$  – перепад температуры по длине МЭП;  $c_p$  – удельная теплоемкость электролита;  $i_a$  – плотность анодного тока;  $\rho_s$  – плотность электролита.

Одним из существенных изменений электролита при ЭХО является его защелачивание, степень которого зависит от материала деталей, плотности технологического тока, состава электролита и его температуры. Обычно pH в процессе обработки повышается до 9 – 11, что ухудшает условия растворения многих металлов и сплавов. Для стабилизации pH электролита применяют буферирование раствора, например, борной кислотой в количестве 3...30 г/л.

Электрод-инструмент для ЭХО изготавливают из сплавов с хорошей электрической проводимостью и высокой стойкостью против

коррозии (меди, латуни, бронзы, коррозионно-стойких сталей, жаропрочных и титановых сплавов, графита и др.). Электроды из коррозионно-стойких сталей применяют для изготовления лопаток турбин и компрессоров, а также штампов и пресс-форм. Из титановых сплавов изготавливают тонкие трубчатые электроды для прошивания глубоких отверстий. Графит применяют в условиях единичного и мелкосерийного производства деталей, а также при обработке вращающимся электродом-диском.

Формообразование профилей ЭИ осуществляют несколькими методами: механической обработкой, литьем, гальванопластикой, металлзандней напылением, обработкой давлением и т.д. Размеры электрода-инструмента отличаются от размеров получаемых сложных профилей деталей.

Электрод-инструмент проектируют и изготавливают, как правило, для каждого типоразмера детали. Точность размеров его рабочей поверхности должна быть на один-два квалитета выше, чем обрабатываемой детали. При проектировании ЭИ необходимо учитывать, что форма обрабатываемой поверхности детали не эквидистантна форме электрода-инструмента. Это объясняется непостоянством режима обработки из-за колебаний температуры электролита, неоднородностью электрического поля по площади обработки (особенно при обработке сложнопрофильных поверхностей) и ряда других факторов.

Для увеличения точности обработки размеры рабочей части ЭИ корректируют с применением графических, аналитических, производственных методов и моделирования. Методика расчета выбирается в зависимости от схемы ЭХО.

Выбор геометрических параметров и расположения электролитопроводящих щелей и отверстий на рабочих поверхностях инструментов осуществляется экспериментально с учетом обеспечения при тчении электролита в области обработки отсутствия застойных зон вихревого движения электролита и сепарации потока.

Для лучшей локализации процесса анодного растворения в рабочие участки электродов-инструментов покрывают изоляционными материалами (табл. 32), которые должны обладать высокими механическими, электроизоляционными, адгезионными свойствами, влаго- и термостойкостью при малой толщине (0,02...5 мм) покрытия.

## 32. Изоляционные покрытия электродов-инструментов

Материал инструмента	Покрытие	Толщина покрытия, мм	Назначение электрода-инструмента
Латунь, коррозионно-стойкая сталь	Синкатная эмаль	0,15...0,2	Обработка фасонных поверхностей, отверстий
	Полнпропилен Эпоксидные смолы Нотакрил Полнуретановая смола	0,3...0,35 0,1...0,3 0,2...0,5 0,1...0,2	Удаление заусенцев, обработка фасонных поверхностей, отверстий больших диаметров
	Капролон, пластмасса АСТ-Т, резина, текстолит, эбонит	0,5...5	Удаление заусенцев, обработка поверхностей больших размеров
	Керамические эмали	0,03...0,08	Прошивание отверстий, узких щелей, фасонных и глубоких полостей
Коррозионно-стойкая сталь, жаропрочные и титановые сплавы	Композиции на основе эпоксидных смол, фурыльный лак	0,1...0,4	Прошивание глубоких отверстий
	Фторопластовые эмульсии Полихлорвинил	0,02...0,05 0,08...0,2	Прошивание отверстий малых диаметров

Параметр шероховатости поверхности рабочей части ЭИ должен быть  $Ra \leq 2,5$  мкм, а изоляции  $Ra \leq 1,25$  мкм, что обусловлено необходимостью улучшения обтекания инструмента электролитом, устранения возможности оседания частиц на нем и снижением изнашивания изоляции.

Одним из преимуществ ЭХО является возможность ее объединения с другими процессами и создание на этой основе совмещенных (комбинированных) методов обработки. В промышленности применяются комбинированные методы обработки, в которых анодное растворение металлов сочетается с механическим или электроэрозионным разрушением, а также осуществляется вследствие ультразвуковых колебаний (электрохимическая абразивная, электроэрозионно-химическая, электрохимическая ультразвуковая). Наибольшее распространение из указанных методов получила электрохимическая абразивная обработка, к которой относятся следующие разновидности: абразивно- и алмазно-электрохимическое шлифование, электрохонингование, электрохимический суперфиниш, электрохимическая доводка, полирование и жидкостно-абразивная обработка.

Сочетание анодного растворения с процессом абразивного резания обеспечивает уве-

личение производительности обработки в 1,5...15 раз, снижение сил резания, средних температур в рабочей зоне, повышение стойкости режущего инструмента и улучшение качества поверхности слоя обрабатываемой детали. Однако точность обработки в ряде случаев ниже, чем при просто абразивной обработке. Режущие и технологические показатели электрохимической абразивной обработки приведены в табл. 33.

Большинство электрохимических станков выпускается малой серией или по заказам предприятий.

Электрохимические станки по технологическому назначению делятся на следующие группы: копирующе-прошивочные (табл. 34); для прошивки глубоких отверстий и профильных каналов (4427, ЭПЛ-320, ЭПЛ-630, ЭАЛ-1000, ЭХЭС-3 и др.); для обработки пера лопаток (табл. 35); для контурной вырезки электродом-проволокой (мод. 4429); для удаления заусенцев (табл. 36); для маркирования (4402, ПЭМ-1М, ЭХМ-1Б, ЭК-1, МЭ311, МЭ309, МЭ329, ГРЭМ-1, ГРЭМ-2 и др.); электрохимические заточные (ЗЕ624Э, 3626Э, 3672 и др.), электрохимические шлифовальные, хонинговальные, суперфинишные и контурно-доводочные (табл. 37).

Электрохимический станок имеет механическую часть, систему циркуляции электролита, источник тока с регулируемым напряжением, систему контроля и управления процессом. Механическая часть, система циркуляции электролита и источник электропитания обычно конструктивно оформляют как самостоятельные агрегаты.

В общем случае механическая часть состоит из жесткой станины, на которой смонтированы элементы базирования и закрепления заготовки и инструмента; механизмов их относительного перемещения с заданными параметрами; рабочей камеры, служащей для защиты станка и оператора от брызг и паров электролита и из которой с помощью вентиляции во избежание взрыва удаляются газообразные

продукты процесса (кислород, водород); элементов системы управления, контроля и регулирования параметров процесса обработки.

Электрическое питание — от источника постоянного тока (иногда импульсного) низкого напряжения 3...40 В (табл. 38), который содержит систему защиты электродов от коротких замыканий, искрений и другие дополнительные устройства (регулирования и стабилизации напряжений и т.д.). Источник вырабатывает ток силой 100...25 000 А, который подводится к станку посредством шинопроводов необходимого сечения при расчетной плотности 1...2 А/мм<sup>2</sup>. Для станков специального назначения создаются источники тока силой 40 000 А и более.

**33. Технологические показатели электрохимической абразивной обработки**

Вид обработки	Режим		Технологические показатели				
	Напряжение, В	Плотность тока, А/см <sup>2</sup>	Скорость съема		Точность, мм	Ra, мкм	
			мм <sup>3</sup> /мин	мкм/мин			
Абразивно-электрохимическое круглое шлифование	4...8	15...100	900...5000	—	0,003...0,01	0,32...0,63	
Алмазно-электрохимическое плоское шлифование			800...12 000		Отклонение от плоскостности 0,005...0,008 на длине 100 мм		
Электрохимическое абразивное суперфинишрование	2...24	20...40	—	150...200 (врезанием); 30...40 (с продольной подачей)	Точность формы в поперечном сечении 0,6...1 мкм, отклонение от цилиндричности 1...4 мкм на длине 100 мм	0,03...0,05	
Электрохимическое абразивное хонингование	5...30	10...40		100...400 иа диаметр	8-й квалитет: отклонение от круглости 0,8 мкм; овальность 2...5 мкм; отклонение от цилиндричности 3...5 мкм иа длине 100 мм		0,32...0,63; выхаживание без тока 0,04...0,16
Электрохимическая абразивная доводка, полирование	1...30	0,1...2		10	Отклонение от плоскостности 0,05 мм иа длине 800 мм		0,02...0,08
Электрохимическая ультразвуковая обработка	4...5	До 25	До 400	—	0,12...0,2	0,63...1,25	



## 34. Технические характеристики копировально-прошивочных станков

Параметр	4421	4422	4424	4А423ФЦ	Э-402	Э-468	ЭКУ-400
Размер обрабатываемой заготовки, мм:							
длина	300	250	480	480	500	500	400
ширина	280	300	850	350	500	500	400
высота	160	160	450	400	500	500	380
Размеры рабочей поверхности стола, мм:							
длина	400	400	1000	630	∅ 700	530	900
ширина	320	250	630	400	—	530	750
Максимальное расстояние от торца катододержателя до поверхности стола, мм	350	315	1000	400	550	550	800
Максимальный рабочий ход электрода-инструмента (или электрода-заготовки)	100	200	400	200	200	220	400
Максимальное давление электролита, МПа	1,6	1,9	1,6	1,9	2,0	2,0	0,6
Максимальный ток, А	1600	3200	12 500	3200	7000	10 000	10 000
Напряжение источника тока, В	3...24	12	12	3...24	12	12	15
Габариты станка, мм:							
длина	900	1400	2500	1518	2000	1100	6000
ширина	635	1720	1860	1210	2500	1000	5000
высота	1750	3020	3600	2950	2850	2600	3900
Масса станка, кг	5000	4500	10 000	4500	—	2000	17 000

Простейшими статическими источниками питания являются селеновые неуправляемые выпрямители типа ИПП, состоящие из трансформатора и выпрямителя. Широко используются тиристорные источники питания типа ВАКР (выпрямительный агрегат кремниевый реверсивный). Они имеют устройства для автоматического поддержания заданной силы тока, напряжения, плотности тока. Для получения импульсного напряжения используют специальные источники питания или специальные приставки, подключаемые к источникам питания постоянного напряжения.

Для обеспечения минимальных потерь напряжения, термической стойкости и стойкости к воздействию электролитов и их паров токоподводы к ЭИ и заготовкам должны иметь минимальное число контактных соединений, не допускающих образования на поверхностях оксидных токонепроводящих пленок (давление в контактных соединениях 0,6...2,5 МПа), эко-

номичное сечение токоподвода и защитные покрытия.

В процессе ЭХО металлов и сплавов в растворе электролита образуются рыхлые и тонкодисперсные осадки гидроксидов металлов (шламы), объем которых во много раз превышает объем снятого металла. Для обеспечения стабильности процесса загрязнения электролита продуктами анодного растворения не должно превышать 4...30 г/л. Требования к чистоте электролита возрастают с уменьшением МЭП. Так, при межэлектродных промежутках менее 0,1 мм стабильность процесса возможна лишь при зашламленности электролита не более 4...6 г/л.

В электрохимических станках используют следующие способы очистки электролита от шлама: отстоя, очистки в центрифугах, фильтрации под давлением, электрофлотационный, очистки в поле магнитных сил и комбинированный. Для ускорения процесса осаждения

35. Технические характеристики электрохимических станков для обработки лопаток

Параметр	МЭ77	МЭ57	МЭ75	ЭХО-1	ЭХО-2	ЭХА-300	АГЭ-2	АГЭ-3	ЭХС-10А	ЭГС-150
Наибольшая длина пера лопатки, мм	250	400...630	630...1250	80...160	150...300	150...300	170...250	65...170	200	80...150
Длина хода электродов, мм	80	140...250	—	20	20	—	2...50	12...18	12	25
Максимальный рабочий ток, А	6300	10 000	6300 × 4	4500	10 000	12 000	6000	4000	5000	5000
Рабочее напряжение, В	10...12	12	До 24	12	3...18	8...14	12	14	6...13	12
Давление электролита, МПа	0,5	0,85	—	0,5...0,6	0,4...0,65	0,5...0,8	0,4...0,6	0,6	—	—
Точность обработки профиля, мм	—	0,3	0,5	0,2...0,35	0,3...0,5	—	0,15...0,36	—	0,1...0,2	0,2
Скорость рабочей подачи, мм/мин	—	0,1...3,0	0,03...2,1	0,3...1,5	0,2...1,0	0,2...5,0	0,06...0,8	0,1...0,6	—	0,2...2,0
Число электродов	2	2	4	2	2	2	2	2	2	—
Габариты станка, мм:										
длина	1920	2520	15 750	1050	1330	1700	1370	1090	1300	1500
ширина	770	1420	13 130	1020	1180	1610	1605	1470	300	900
высота	1290	2780	2850	1850	1960	2080	2100	1700	1100	2000
Масса станка, кг	2000	7350	15 350	900	1600	2500	2500	1800	—	1500

36. Технические характеристики электрохимических станков для удаления заусенцев

Параметр	4405	4406	4407	Арапат-2	4420	4408Д	4420ДА	4450
Максимальный размер обрабатываемой детали, мм	50	125	320	∅ 200× ×100*	200	80	200	500
Размеры стола, мм:								
длина	200	320	500	500	400	400	630	630
ширина	160	250	400	360	250	250	400	400
Наибольшее расстояние от стола до рабочей поверхности траверсы, мм	230	340	420	560	320	250	320	400
Ход траверсы, мм	140	200	250	300	140	110	140	180
Вместимость бака для электролита, л	320	600	1000	1600	380	220	380	380
Давление электролита, МПа	1,5	1,8	1,8	3	2,3	1,5...2,3	3...3,5	1,5...2,3
Время обработки (регулируемое), с	15...60	15...60	15...60	8...60	—	—	—	—
Наибольший технологический ток, А	500	1000	2000	1600	600	600	1500	1500
Напряжение рабочего тока, В	9, 18; 24	6...22	6...22	3...24	15; 18; 21	1,5; 18; 21	12...20	12...20
Общая мощность, потребляемая станком, кВт	20	50	80	70	13	24	54	27
Габариты станка, мм:								
длина	840	1080	1260	2200	1100	1100	1300	1300
ширина	780	1470	1930	1770	900	900	1100	1100
высота	1665	1720	1720	1520	2000	2000	2150	2300
Масса станка, кг	550	850	1300	1300	1050	1050	1550	1500

\* Высота зубчатого колеса.

## 37. Электрохимические абразивные станки

Станок	Назначение	Инструмент	Размеры обрабатываемой детали (профиля), мм	Габариты станка, мм (длина × ширина × высота)
Полуавтомат ЗЕ711ЭФ2-1 плоскопрофильшлифовальный с прямоугольным столом и горизонтальным шпинделем	Плоское и профильное шлифование деталей из твердых сплавов, коррозионно-стойких и быстрорежущих сталей	Фасонные графитовые, металлические диски, алмазные или абразивные токопроводящие круги	400 × 200 × 320 (400 × 100 × 10)	1870 × 1350 × 1870
Полуавтомат ЗЕ731ЭФ2 плоскошлифовальный повышенной точности с прямоугольным столом и вертикальным шпинделем	Шлифование плоскостей деталей из твердых сплавов и других труднообрабатываемых материалов торцом круга	Чашечные алмазные круги на металлической связке	630 × 200 × 320	2540 × 1380 × 2330
Полуавтомат ЗЭ7541Ф1 плоскошлифовальный с круглым выдвижным столом и вертикальным шпинделем	Шлифование плоскостей деталей из твердого сплава торцом круга	Алмазные круги на металлической связке	Диаметр 20...500, высота 5...200	3960 × 3530 × 2280
Хонинговальные электрохимические вертикальные полуавтоматы: 3820Э	Обработка внутренних цилиндрических поверхностей из труднообрабатываемых материалов	Абразивные бруски		
3822Э			Диаметр отверстия 8...30, длина до 80 Диаметр отверстия 20...80, длина до 130	1100 × 630 × 2145 2925 × 3485 × 2965
Универсальный электрохимический круглошлифовальный станок ЗЭ110М	Обработка наружных и внутренних цилиндрических поверхностей деталей из твердого сплава, жаропрочных, магнитных сплавов и сплавов на основе вольфрама, титана, ванадия и т.д.	Алмазные или абразивные токопроводящие круги	Диаметр: наружный 3...140; внутренний 10...25, длина шлифования до 180	2330 × 2670 × 1550
Суперфинишный электрохимический центральный полуавтомат 3871БЭ	Обработка наружных цилиндрических поверхностей деталей из углеродистых, легированных и коррозионно-стойких сталей	Абразивные, токопроводящие или обычные абразивные бруски	Диаметр 280 (40...140), длина 710	3160 × 2800 × 1996
Электрохимический контурно-проводочный станок с ЧПУ 4462Ф3	Электрохимическая доводка контурных отверстий с прямоугольной образующей в деталях из твердого сплава и алмазная вырезка профилей в деталях из хрупких материалов (кварцевое стекло, сингалы и т.д.)	Стальная проволока, армированная алмазом, диаметром 0,3...0,5	250 × 160 × 70 (200 × 125 × 70)	1045 × 790 × 1570

## 38. Технические характеристики источников тока для электрохимических станков

Источник тока	Схема выпрямления	Выпрямленное напряжение, В	Номинальный ток, А
ИПП – 3000/12	Трехфазная мостовая	14; 16	3000
ИПП – 5000/12		14; 16; 18	5000
ИПП – 5000/24		23; 32; 40	5000
ИПП – 10000/12	Двойная звезда с уравни- тельным реактором	10; 12	1000
ИПП – 15000/12М		9; 12; 15; 18	15 000
ИПТУ – 160	Трехфазная	10...30	160
ИПТУ – 320			320
ИПТУ – 630			630
ИПТУ – 1600			1600
ИПТУ – 3200	Шестифазная	5...15	3200
ИПТУ – 5000			5000
ИПТУ – 10000			10 000
ИПТУ – 25000			25 000
ВАКР – 100 – 12У4	Шестифазная с уравни- тельным реактором	3...12	100
ВАКР – 320 – 18У4		3...18	320
ВАКР – 630 – 24У4		3...24	630
ВАКР – 1600 – 24У4			1600
ВАКР – 3200 – 12У4			3200
ВАКР – 6300 – 12У4		3...12	6300
ВАКР – 12500 – 12У4			12 500
ВАКР – 25000 – 24У4		3...24	25 000
ВАКГ 18/9 – 3209		18; 9	320
ВАКГ – 12/6 – 630			630
ВАКГ – 12/6 – 1600	12; 6	1600	
ВАКГ – 12/6 – 3200		3200	
ИПН – 20/1000	Трехфазная	0...1000	20

шлама в раствор электролита вводят коагуляторы, например полиакриламид в количестве 1...5 г/л.

Таким образом, системы циркуляции, очистки и стабилизации параметров электролита электрохимического станка включают в себя одну или несколько емкостей для раствора, объем которых рассчитывается примерно из соотношения 800 л на 1000 А тока; насос для подачи электролита в МЭП при расходе ~60 л/мин на 1000 А тока источника питания при давлении 0,2...2,5 МПа; агрегаты очистки электролита от посторонних частиц и шлама; систему стабилизации температуры и pH электролита в заданных пределах, а также дополнительный насос для перекачки электролита.

Технические характеристики засосов и агрегатов для очистки электролита представлены в табл. 39 и 40.

В процессе ЭХО в результате электролиза воды на электроде-инструменте интенсивно выделяется водород. Смесь его с воздухом взрывоопасна, если в ней содержится более 4...5 % водорода. Поэтому при проектировании электрохимического оборудования и цехов (участков) предусматривают вентиляционные системы для удаления газообразных продуктов процесса и сигнализаторы наличия водорода.

Объем водорода, выделяющегося за 1 мин при атмосферном давлении и температуре электролита  $T$

$$V_{H_2} = \eta_{H_2} \varepsilon_{H_2} i_a F_{э,и} \left( \frac{273 + T}{273} \right),$$

где  $\eta_{H_2} = 1,0$  – выход водорода по току;  
 $\varepsilon_{H_2} = 0,007$  л/(А · мин) – объемный электрохимический эквивалент для водорода;  $i_a$  – плотность тока, А/см<sup>2</sup>;  $F_{э,и}$  – площадь ЭИ, см<sup>2</sup>.

Скорость откачки вытяжной вентиляционной системы  $v_{вент}$  должна быть такой, чтобы по ее тракту содержание водорода не превышало 1,5...2,0 %:  $v_{вент} = (50...60) V_{H_2}$ .

В качестве местной вытяжной вентиляции используют зонты над баками, бортовые отсосы и вытяжные шкафы (рабочие камеры).

Для улавливания капель электролита вытяжные устройства снабжают улавливателями-конденсаторами.

Рекомендуется применять коррозионно-стойкие вентиляторы из полимерных материалов.

При проектировании технологических процессов электрохимической обработки: 1) определяют целесообразность применения ЭХО; 2) отрабатывают конструкцию обрабатываемой детали на технологичность с учетом особенностей процесса; 3) выбирают электролит (определяют химический состав, концентрацию и температуру электролита); 4) определяют

**39. Насосы коррозионно-стойкие для электрохимических стоек**

Марка	Подача, м <sup>3</sup> /ч	Давление, МПа	Мощность, кВт	Габариты (длина × ширина × высота), мм
ХБ-20/190	20	1,9	40	1818 × 446 × 709
ХБ-45/165	45	1,65	55	1970 × 446 × 709
НЦВ-63/80	63	0,8	25	560 × 770 × 951
НЦВ-40/20	40	0,2	4,5	460 × 450 × 717
МС-70М	50...85	1,2...2,5	40	1600 × 750 × 729
ЭПжН-3	25...50	1,6	32	655 × 620 × 1547
Х20/32-Е-1	20	0,31	5,5	1060 × 340 × 418
Х45/54-К-1	45	0,54	30	1465 × 595 × 590
Х90/85-К-1	90	0,85	55	1761 × 740 × 711
ЗКМ-45/55	45	0,55	17	1325 × 546 × 530
ЧПС-6	85	0,32	30	1935 × 820 × 845

**40. Технические характеристики агрегатов для очистки электролита**

Тип агрегата	Подача, м <sup>3</sup> /ч	Влажность выгружаемого осадка, %	Потребляемая мощность, кВт	Габариты (длина × ширина × высота), мм	Масса, кг
Центрифуги периодического действия:					
ОТВ-600 Н	0,8...1,0	70...85	2,1	1460 × 1080 × 980	620
ОТН-800 Н	0,8...1,0	75...85	4,5	1630 × 1240 × 1080	910
Центрифуги непрерывного действия шнековые:					
НОГШ-350-Н	1,6...2,0	80...85	7,5	1550 × 1095 × 715	915
НОГШ-200-3Н	0,8...1,1	80...85	5,5	1460 × 1115 × 1485	510
Сепаратор ОДМ-632К-1 непрерывного действия с периодической выгрузкой осадка	8	40...50	13	1445 × 1270 × 1510	—
Фильтр-пресс ФПАКМ-25 непрерывного автоматического действия	4	20	36	3780 × 2150 × 4210	15 780
Барабанные вакуум-фильтры БОКС-1,75, БОКС-1,75 К с наружной фильтрующей поверхностью	2...3	55...60	1,9	2570 × 2420 × 2550	2460

основные параметры процесса (скорость подачи ЭИ, напряжение на электродах, межэлектродный промежуток, давление и расход электролита) и точность изготовления деталей; 5) выбирают материал ЭИ, способ подачи электролита в МЭП; рассчитывают и проектируют рабочую часть инструмента, способы его изготовления и нанесения изоляционных покрытий на нерабочие части; 6) проектируют необходимые приспособления; 7) проверяют и корректируют технологические параметры процесса; 8) разрабатывают операции электрохимического изменения поверхностей; 9) контролируют основные параметры обработанных поверхностей; 10) осуществляют антикоррозийное покрытие деталей.

При определении целесообразности применения ЭХО следует учитывать, что сложность изготовления и корректировки ЭИ, высокая стоимость оборудования и другие факторы во многих случаях делают нерентабельным процесс, особенно при обработке простых деталей и малой серийности. Рекомендуется применять ЭХО: для изготовления деталей из материалов, обработка которых обычными способами затруднена или невозможна; при формообразовании сложных поверхностей: для изготовления термообработанных или нежестких деталей, узких каналов, малых отверстий значительной глубины (до 400 мм); для снятия заусенцев и маркировки деталей.

Для обеспечения заданной точности и качества поверхности при ЭХО важным являются правильный выбор заготовок и соответствующая их подготовка. Подготовка заключается в том, что на заготовке должны быть предусмотрены установочные и измерительные базы, места для токоподвода от источника питания с параметром шероховатости не более  $Ra = 0,4$  мкм. Поверхности заготовки должны быть очищены от загрязнений (масляных пятен, окисных пленок), окалины, а необрабатываемые участки при условии попадания на них электролита защищены от растравливания.

При установке и закреплении заготовок в приспособлениях необходимо обеспечить высокое качество переходных контактов с целью снижения электрического сопротивления, особенно при работе с большой силой тока. Некачественный контакт может вызвать снижение мощности, оплавление элементов оснастки, плохо прилегающих друг к другу, и попадание электролита в зону контакта.

Антикоррозионную обработку деталей после ЭХО проводят в целях предотвращения

коррозии. Последовательность обработки деталей из штамповых сталей включает в себя: декапирование в разбавленном растворе соляной кислоты (30..50 г/л); промывку водой; обработку в растворе хромпика (50 г/л); промывку водой; обдувку сжатым воздухом до полного высыхания; смазывание минеральным маслом с ингибитором коррозии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Иоффе В.Ф., Коренблюм М.В., Шавырин В.А.** Автоматизированные электроэрозионные станки. Л.: Машиностроение, 1984. 227 с.
2. **Лазерная техника и технология.** В 7 кн.: Учеб. пособие для вузов / Под ред. А.Г. Григорянца. М.: Высш. шк., 1988.
3. **Марков А.И.** Ультразвуковая обработка материалов. М.: Машиностроение, 1980. 237 с.
4. **Немлов Е.Ф.** Справочник по электроэрозионной обработке материалов. Л.: Машиностроение, 1989. 164 с.
5. **Оборудование для размерной электрохимической обработки деталей машин** / Под ред. Ф.В. Седыкина. М.: Машиностроение, 1980. 277 с.
6. **Основы теории и практики электрохимической обработки металлов и сплавов** / М.В. Щербак, М.А. Толстая, А.П. Анисимов, В.Х. Постаногов. М.: Машиностроение, 1981. 263 с.
7. **Рыкалин Н.Н., Зуев И.В., Углов А.А.** Основы электронно-лучевой обработки материалов. М.: Машиностроение, 1978. 239 с.
8. **Справочник технолога-приборостроителя. Т. I** / Под ред. П.В. Сыроватченко. М.: Машиностроение, 1980. 606 с.
9. **Усов С.В., Назаров Ю.Ф., Коротков И.П.** Комбинированные методы обработки в машиностроении. М.: ЮНИТ, 2002. 242 с.
10. **Усов С.В.** Лазерные технологии и оборудование в машиностроении: Учеб. метод. пособие. М.: МГОУ, 2002. 163 с.
11. **Фотеев Н.К.** Технология электроэрозионной обработки. М.: Машиностроение, 1980. 184 с.
12. **Электрофизические и электрохимические станки.** Каталог. М.: НИИмаш, 1982. 127 с.
13. **Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов:** Учеб. пособие: В 2 т. / Б.А. Артамонов, Ю.С. Волков, В.И. Дрожалова; Под ред. В.П. Смоленцева. М.: Высш. шк., 1983.

## ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ С ЧПУ

### ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ В СТАНКАХ С ЧПУ И ИХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

#### ПОНЯТИЕ СИСТЕМЫ ЧПУ, ЕЕ ЭЛЕМЕНТОВ И СТРУКТУРА СТАНКА С ЧПУ

Развитие электронки и вычислительной техники, внедрение в производство ЭВМ привело к разработке и широкому применению в промышленности металлорежущих станков с числовым программным управлением (ЧПУ).

Числовым программным управлением станком в соответствии с ГОСТ 20523-80 (в ред. 1987 г.) называют управление обработкой заготовки на станке по управляющей программе, в которой данные заданы в цифровой форме.

Под системой числового программного управления понимают совокупность функционально взаимосвязанных и взаимодействующих технических и программных средств, обеспечивающих ЧПУ станком.

Основой системы ЧПУ является устройство числового программного управления (УЧПУ), выдающее управляющие воздействия

на исполнительные органы станка в соответствии с управляющей программой и информацией о состоянии управляемого объекта, получаемой с помощью измерительных систем.

Структура построения станка с ЧПУ показана на рис. 1.

Под управляющей программой (УП) понимается совокупность команд на языке программирования, соответствующая заданному алгоритму функционирования станка по обработке конкретной заготовки.

Управляющая программа записывается и вводится в систему ЧПУ с помощью программноносителя, в качестве которого могут применяться перфолента, магнитная лента, магнитный диск и запоминающие устройства разного типа.

### ОБЩАЯ СХЕМА ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ

В общем виде процесс подготовки и работы станка с ЧПУ можно представить, рассматривая его как процесс передачи и преобразования информации в системе "чертеж детали - готовая деталь" (рис. 2).

На первом этапе на основании чертежа детали, а также информации из нормалей, ТУ, РТМ, ГОСТов, характеристик станков с ЧПУ проводится подготовка исходных данных для проектирования технологического процесса обработки заданной детали с разработкой маршрутной и операционной технологий, расчетом траекторий перемещений рабочих органов станка с режущим инструментом и заготовкой, кодирование полученной информации и ее запись на программноносителе.

В процессе разработки технологического процесса обработки производится выбор и последующая наладка на станке режущих инструментов и приспособления.

После этого проводится отладка и контроль УП и разработанного технологического процесса с последующей обработкой на станке контрольных деталей.

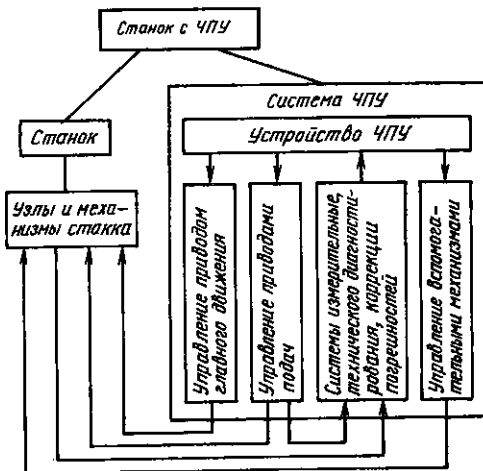


Рис. 1. Структура построения станка с ЧПУ



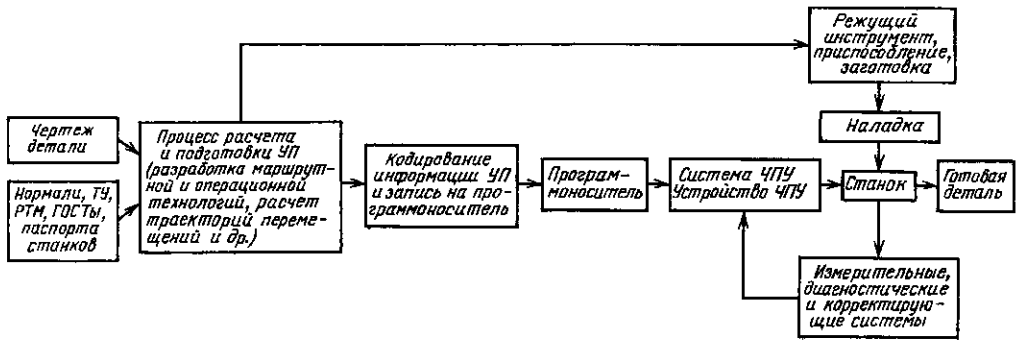


Рис. 2. Процесс передачи и преобразования информации в системе "чертеж детали – готовая деталь"

На втором этапе на основе разработанной УП производится управление станком при обработке всей партии заданной детали. Система ЧПУ, основой которой является устройство ЧПУ, производит управление приводом главного движения, приводами подач и цикловой автоматикой (вспомогательными механизмами станка). В процессе управления осуществляется измерение величин перемещений рабочих органов станка (с помощью обратной связи), а также может проводиться техническое диагностирование системы управления, узлов станка, режущего инструмента, измерение обрабатываемых деталей непосредственно на станке, измерение действительного положения режущего инструмента, измерение погрешностей станка с целью их последующей коррекции и др.

### ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ И ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ УП ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

Применение станков с ЧПУ коренным образом изменило технологическую подготовку производства, которая стала сферой инженерного труда. Применение этих станков обусловило ряд особенностей при проектировании технологических процессов обработки заготовок на этих станках.

Значительно возросли сложность технологических задач и трудоемкость их решения в связи с необходимостью расчета и составления УП и ее записи на программноноситель. Для этого необходимы не только технологические, но и специальные знания по математике и программированию. Существенной особенностью проектирования технологического процесса является необходимость точного определения траектории движения режущего инструмента в

системе координат станка, а также увязка исходной точки обработки с положением заготовки и др.

Применяют следующие способы подготовки УП:

- ручную (ручное программирование), выполняемое соответствующими специалистами (инженером-технологом, программистом и др.);
- машинное программирование, выполняемое системой автоматического программирования (САП), построенной на основе применения ЭВМ;
- диалоговое машинное программирование, когда подготовка УП производится непосредственно у станка с клавиатуры УЧПУ в режиме диалога с решением многих задач с помощью микро-ЭВМ устройства ЧПУ.

Основные задачи, решаемые при расчете и подготовке УП, подразделяют на следующие этапы:

- 1 этап – разделение операции на установовы и позиции, выбор метода крепления заготовок приспособления; подготовка операционной карты;
- 2 этап – определение последовательности переходов; выбор инструмента; расчет режимов резания; подготовка карт наладки станка и инструмента;
- 3 этап – определение настроечных размеров детали; пересчет размеров в координаты опорных точек; разделение переходов на ходы и шаги; расчет координат опорных точек траектории; преобразование систем координат;
- 4 этап – формирование элементарных перемещений; определение технологических команд; пересчет величин перемещений в дискреты; кодирование УП и ее запись на программноноситель; распечатка текста УП;

5 этап — контроль программноносителя; контроль траекторной инструмента; редактирование УП.

При расчете и подготовке УП вручную практически все этапы, исключая часть задач на 4 и 5 этапах, выполняют соответствующие специалисты.

При расчете и подготовке УП с применением САП большинство задач решается автоматически ЭВМ. А на самом высоком уровне автоматизации подготовка УП может входить в состав задач автоматизированных систем технологической подготовки производства.

Система автоматического программирования представляет собой программно-математическое обеспечение, выполняющее функции обработки информации в процессе технологической подготовки производства для станков с ЧПУ. При вводе САП в действие комплекс соответствующих вычислительных программ, находящихся на машинных носителях информации ЭВМ (перфолентах, магнитных лентах, магнитных дисках), вводится в оперативную память ЭВМ. Затем производится ввод исходных программ на языке программирования, расшифровка их содержания, выполнение необходимых вычислений и кодирование результатов расчетов.

САП разделяют на универсальные и специализированные. Универсальные САП рассчитаны на широкую группу станков. Специализированные САП предназначены для автоматического программирования только для станков определенной модели, принадлежащих к одному типоразмеру и оснащенных одной и той же системой ЧПУ.

Универсальные САП состоят из двух основных частей, связанных между собой промежуточным языком CILDATA, разработанным Международным комитетом стандартов ИСО:

- процессора, выполняющего преобразование исходной программы обработки детали на языке технологического программирования в промежуточную программу, общую для всех станков данной группы;

- набора постпроцессоров, каждый из которых ориентирован на конкретный тип станка с ЧПУ и переводит промежуточную программу в управляющую, закодированную на соответствующем машинном языке.

В России и за рубежом разработано значительное число САП, построенных на основе малых и больших ЭВМ. Описание наиболее широко применяемых САП приведено в работах [1] и [3].

Диалоговый метод программирования может реализовываться на всех современных программируемых УЧПУ. Этот метод рекомендуется применять при подготовке УП для изготовления простых деталей.

При диалоговом методе программирования на экране дисплея УЧПУ высвечивается последовательность вопросов, на которые должен ответить оператор путем нажатия соответствующих буквенных или цифровых клавиш. При другом варианте эти вопросы могут задаваться в виде перечня, из которого надо выбрать желаемый вариант.

Для контроля УП на ряде УЧПУ предусмотрено вычерчивание на дисплее контура детали и траектории движения режущего инструмента. Более подробно характеристика указанных этапов подготовки УП с конкретными примерами их выполнения приведена далее.

## КОДИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ УП И ЕЕ ЗАПИСЬ НА ПРОГРАММОНОСИТЕЛЬ

Кодирование информации УП производится семиразрядным буквенно-цифровым кодом по ГОСТ 27463-87 (в ред. 1991 г.), соответствующим международному коду ISO-7bit. Значения символов адресов, управляющих символов и знаков в терминах ЧПУ у этого кода установлены ГОСТ 20999-83 (табл. 1 и 2).

Информация УП данным кодом записывается на 8-ми дорожковой перфоленте шириной 25,4 мм (1 дюйм). Первым четырем дорожкам перфоленты (1-4) приписаны веса двоично-десятичного кода 8421, что обеспечивает 16 кодовых комбинаций, выражающих в двоичном коде десятичные цифры. Дорожки 5, 6, 7 перфоленты являются определяющими. Перфорирование отверстий на дорожках 5 и 6 является признаком записи десятичных цифр 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 и 9. Буквы латинского алфавита от А до О, выражаемые комбинациями десятичных цифр от 0 до 15, определяются перфорированием дорожки 7, а признак букв от Р до Z — отверстиями на дорожках 5 и 7.

Помехозащищенность в данном коде осуществляется строчным контролем на четность, которая обеспечивается пробивкой отверстия на восьмой дорожке перфоленты, если в строке на семи предыдущих дорожках пробито нечетное количество отверстий.

## 1. Значения символов адресов

Символ	Кодовая позиция символа	Значение
A	4/1	Угол поворота вокруг оси X
B	4/2	Угол поворота вокруг оси Y
C	4/3	Угол поворота вокруг оси Z
D	4/4	Вторая функция инструмента
E	4/5	Вторая функция подачи
F	4/6	Первая функция подачи
G	4/7	Подготовительная функция
H	4/8	Не определен
I	4/9	Параметр интерполяции или шаг резьбы параллельно оси X
J	4/10	Параметр интерполяции или шаг резьбы параллельно оси Y
K	4/11	Параметр интерполяции или шаг резьбы параллельно оси Z
L	4/12	Не определен
M	4/13	Вспомогательная функция
N	4/14	Номер кадра
O	4/15	Не определен
P	5/0	Третичная длина перемещения, параллельного оси X
Q	5/1	Третичная длина перемещения, параллельного оси Y
R	5/2	Перемещение на быстром ходу по оси Z или третичная длина перемещения, параллельного оси Z
S	5/3	Функция главного движения
T	5/4	Первая функция инструмента
U	5/5	Вторичная длина перемещения, параллельного оси X
V	5/6	Вторичная длина перемещения, параллельного оси Y
W	5/7	Вторичная длина перемещения, параллельного оси Z
X	5/8	Первичная длина перемещения, параллельного оси X
Y	5/9	Первичная длина перемещения, параллельного оси Y
Z	5/10	Первичная длина перемещения, параллельного оси Z

Примечания: 1. Обозначения кодовых позиций символов – по ГОСТ 27463–87 (в ред. 1991 г.).

2. Если символы A, B, C, D, E, P, Q, R, U, V, W не используются в основных значениях, они становятся неопределенными и могут быть использованы для специальных значений.

## 2. Значения управляющих символов и знаков

Символ	Кодовая позиция символа	Наименование	Значение
ГТ	0/9	Табуляция	Символ, управляющий перемещением действующей позиции печати в следующую, заранее определенную знаковую позицию на той же строке. Предназначен для управления устройствами печати при распечатке управляющей программы, УЧПУ не воспринимается
ПС	0/10	Конец кадра	Символ, обозначающий конец кадра управляющей программы

Окончание табл. 2

Символ	Кодовая позиция символа	Наименование	Значение
%	2/5	Начало программы	Знак, обозначающий начало управляющей программы (используется также для остановки иоснтеля данных при обратной перемотке)
(	2/8	Круглая скобка левая	Знак, обозначающий, что следующая за ним информация не должна обрабатываться на станке
)	2/9	Круглая скобка правая	Знак, обозначающий, что следующая за ним информация должна обрабатываться на станке
+	2/11	Плюс	Математический знак
-	2/13	Минус	Математический знак
.	2/14	Точка	Десятичный знак
/	2/15	Пропуск кадра	Знак, обозначающий, что следующая за ним информация до первого символа "Конец кадра" может обрабатываться или не обрабатываться на станке (в зависимости от положения органа управления на пульте управления УЧПУ). Когда этот знак стоит перед символами "Номер кадра" и "Главный кадр", он действует на целый кадр управляющей программы
:	3/10	Главный кадр	Знак, обозначающий главный кадр управляющей программы

Примечания. 1. Обозначения кодовых позиций символов – по ГОСТ 27463–87 (в ред. 1991 г.).

2. В таблицу не включены управляющие символы ВК, ПР, ЗБ, ПУС, не воспринимаемые УЧПУ. Наименование и значение этих символов – по ГОСТ 27465–87 (в ред. 1991 г.).

3. При печатании машинописного бланка управляющей программы (распечатка программы) символы "Табуляция" и "Конец кадра" не печатаются.

Элементы 8-ми дорожковой перфоленты показаны на рис. 3.

Таким образом, в данном коде одним и тем же комбинациям первых четырех дорожек соответствуют разные символы, различить которые можно по наличию отверстий на определяющих дорожках. Например, пробивка отверстий на дорожках 2 и 3 (0110) соответствует десятичной цифре 6, на дорожках 1 и 4 (1001) – цифре 9, если перфорированы дорожки 5 и 6. Если перфорированы дорожки 5 и 7, то комбинацией 0110 закодирована буква V, а если перфорирована только дорожка 7, то комбинацией 1001 кодирована буква I. Для служебных символов в данном коде признаком их записи является пробивка отверстия на дорожке 6 или отсутствие отверстий на определяющих дорожках.

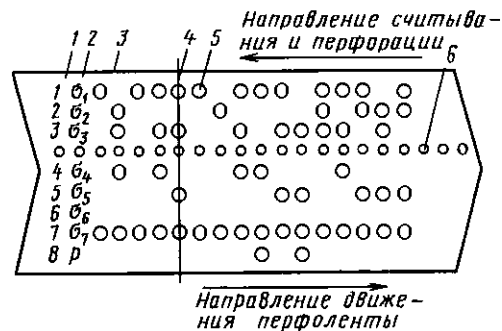


Рис. 3. Элементы перфоленты:

- 1 – номер кодовой дорожки;
- 2 – порядковый номер бита в кодовой комбинации;
- 3 – кромка базовая; 4 – строка; 5 – кодовые отверстия;
- 6 – транспортные (тактовые) отверстия

## СТРУКТУРА ПОСТРОЕНИЯ УП

Общую структуру записи УП, схему записи отдельных кадров определяет ГОСТ 20999-83. Этим же стандартом определены рекомендуемые для употребления кодовые обозначения подготовительных и вспомогательных функций, виды и форма записи функций подач и главного движения, кодирование инструмента и др.

УП записывается на носитель данных в виде последовательности кадров (рис. 4). Под *кадром УП* понимают составляющую часть УП, вводимую и обрабатываемую как единое целое и содержащую не менее одной команды. Кадр УП, содержащий все данные, необходимые для возобновления обработки заготовки после ее

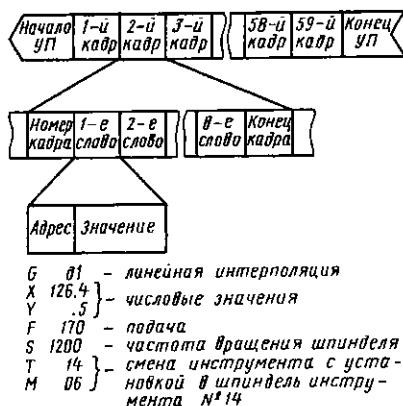


Рис. 4. Порядок записи УП на перфоленту

перерыва, называют главным кадром. Он обозначается специальным символом (см. табл. 2).

Каждый кадр состоит из слов, расположенных в определенном порядке. Под *словом* понимают составляющую часть кадра, содержащую данные о параметре процесса обработки заготовки и (или) другие данные по выполнению управления. Слово в начале кадра, определяющее последовательность кадров в УП, называют номером кадра. Номер кадра задается адресом N и целым десятичным числом. В главном кадре вместо адреса N записывают символ (:).

Часть слова УП, определяющая назначенные следующих за ним данных, содержащихся в этом слове, называют *адресом*. Значения символов адресов установленных ГОСТ 20999-83 были приведены в табл. 1. Обозначения кодовых позиций символов по ГОСТ 27463-87 (в ред. 1991 г.).

Каждая УП должна начинаться символом "Начало программы", а заканчиваться символом "Конец программы" (см. рис. 4). Каждый кадр УП должен содержать: слово "Номер кадра", информационные слова или слово и символ "Конец кадра" (см. табл. 2). Функции с адресом G, называемые подготовительными (см. табл. 1), определяют режим и условия работы станка и устройства ЧПУ. Они кодируются от G00 до G99. За каждой из функций в ГОСТ 20999-83 закреплено определенное значение (табл. 3 и 4).

Наряду с подготовительными функциями при подготовке УП используют также вспомогательные функции с адресом M (табл. 5).

### 3. Значения подготовительных функций

Подготовительная функция	Наименование	Значение
G00	Быстрое позиционирование	Перемещение в запрограммированную точку с максимальной скоростью (например, с наибольшей скоростью подачи). Предварительно запрограммированная скорость перемещения игнорируется, но не отменяется. Перемещения по осям координат могут быть искорректированы
G01	Линейная интерполяция	Вид управления, при котором обеспечивается постоянное отношение между скоростями по осям координат, пропорциональное отношению между расстояниями, на которые должен переместиться исполнительный орган станка по двум или более осям координат одновременно. При прямоугольной системе координат перемещение происходит по прямой линии

Продолжение табл. 3

Подготовительная функция	Наименование	Значение
G02, G03	Круговая интерполяция	Вид контурного управления для получения дуги окружности, при котором векторные скорости по осям координат, используемые для образования дуги, изменяются устройством управления
G02	Круговая интерполяция. Движение по часовой стрелке	Круговая интерполяция, при которой движение исполнительного органа направлено по часовой стрелке, если смотреть со стороны положительного направления оси, перпендикулярной к обрабатываемой поверхности
G03	Круговая интерполяция. Движение против часовой стрелки	Круговая интерполяция, при которой движение исполнительного органа направлено против часовой стрелки, если смотреть со стороны положительного направления оси, перпендикулярной к обрабатываемой поверхности
G04	Пауза	Указание о временной задержке, конкретное значение которой задается в управляющей программе или другим способом. Применяется для выполнения тех или иных операций, протекающих известное время и не требующих ответа о выполнении
G05	Не определена	—
G06	Параболическая интерполяция	Вид контурного управления для получения дуги параболы, при котором векторные скорости по осям координат, используемые для образования этой дуги, изменяются устройством управления
G07	Не определена	—
G08	Разгон	Автоматическое увеличение скорости перемещения в начале движения до запрограммированного значения
G09	Торможение	Автоматическое уменьшение скорости перемещения относительно запрограммированной при приближении к запрограммированной точке
От G10 до G16	Не определены	—
От G17 до G19	Выбор плоскости	Задание плоскости таких функций, как круговая интерполяция, коррекция на фрезу и др.
От G20 до G24	Не определены	—
От G25 до G29	Постоянно не определены	—
От G30 до G32	Не определены	—
G33	Нарезание резьбы	—
G34	Нарезание резьбы с увеличивающимся шагом	—
G35	Нарезание резьбы с уменьшающимся шагом	—
От G36 до G39	Постоянно не определены	—

Продолжение табл. 3

Подготовительная функция	Наименование	Значение
G40	Отмена коррекции инструмента	—
G41	Коррекция на фрезу – левая	Коррекция на фрезу при контуриом управлении. Используется, когда фреза находится слева от обрабатываемой поверхности, если смотреть от фрезы в направлении ее движения относительно заготовки
G42	Коррекция на фрезу – правая	Коррекция на фрезу при контурном управлении. Используется, когда фреза находится справа от обрабатываемой поверхности, если смотреть от фрезы в направлении ее движения относительно заготовки
G43	Коррекция на положение инструмента – положительная	Указание, что значение коррекции на положение инструмента необходимо сложить с координатой, заданной в соответствующем кадре или кадрах
G44	Коррекция на положение инструмента – отрицательная	Указание, что значение коррекции на положение инструмента необходимо вычесть из координаты, заданной в соответствующем кадре или кадрах
От G45 до G52	Не определены	—
G53	Отмена заданного смещения	Отмена любой из функции G54 – G59. Действует только в том кадре, в котором она записана
От G54 до G59	Заданное смещение	Смещение нулевой точки детали относительно исходной точки станка
От G60 до G62	Не определены	—
G63	Нарезание резьбы метчиком	—
От G64 до G79	Не определены	—
G80	Отмена постоянного цикла	Функция, которая отменяет любой постоянный цикл
От G81 до G89	Постоянные циклы	Значения функции G81 – G89 приведены в табл. 4
G90	Абсолютный размер	Отсчет перемещения производится относительно выбранной нулевой точки
G91	Размер в приращениях	Отсчет перемещения производится относительно предыдущей запрограммированной точки
G92	Установка абсолютных накопителей положения	Изменение состояния абсолютных накопителей положения. При этом движения исполнительных органов не происходит
G93	Скорость подачи в функции, обратной времени	Указание, что число, следующее за адресом F, равно обратному значению времени в минутах, необходимому для отработки кадра
G94	Подача в минуту	—
G95	Подача на оборот	—

Окончание табл. 3

Подготовительная функция	Наименование	Значение
G96	Постоянная скорость резания	Указание, что число, следующее за адресом S, равно скорости резания в метрах в минуту. При этом скорость шпинделя регулируется автоматически с целью поддержания запрограммированной скорости резания
G97	Обороты в минуту	Указание, что число, следующее за адресом S, равно скорости шпинделя в оборотах в минуту
G98	Не определена	—
G99	Не определена	—

Примечания: 1. Постоянно неопределенные и неопределенные подготовительные функции предназначены для индивидуального использования в конкретных УЧПУ.

2. Допускается функцию G04 выделять в отдельную группу. Указание о включении G04 в определенную группу или о действии ее только в том кадре, в котором она записана, должно быть приведено в эксплуатационной документации по ГОСТ 2.601–95 (в ред. 2001 г.) на конкретные УЧПУ.

3. Функции от G40 до G44 могут входить в одну группу.

4. При использовании постоянно неопределенных и (или) неопределенных подготовительных функций, а также подготовительных функций G43, G44 указания о том, действуют функции на ряд кадров или на один кадр, должны быть приведены в эксплуатационной документации на конкретные УЧПУ.

5. При задании параметров резбонарезания без использования функций G34, G35, G63 они становятся неопределенными и могут быть использованы для специальных значений.

#### 4. Значения постоянных циклов

Подготовительная функция постоянного цикла	Движение в процессе обработки	Действие в конце обработки		Движение в исходное положение после обработки	Типовое использование
		пауза	шпиндель		
G81	Рабочая подача	—	—	Быстрый отвод	Сверление, зацентровка
G82	Рабочая подача	Да	—	Быстрый отвод	Сверление, зенкование
G83	Подача с периодическим выводом инструмента	—	—	Быстрый отвод	Глубокое сверление
G84	Вращение шпинделя в заданном направлении, рабочая подача шпинделя	—	Реверс	Отвод на рабочей подаче	Нарезание резьбы метчиком
G85	Рабочая подача	—	—	Отвод на рабочей подаче	Растачивание, развертывание
G86	Включение шпинделя, рабочая подача	—	Останов	Быстрый отвод	Растачивание
G87	Включение шпинделя, рабочая подача	—	Останов	Отвод вручную	Растачивание
G88	Включение шпинделя, рабочая подача	Да	Останов	Отвод вручную	Растачивание
G89	Рабочая подача	Да	—	Отвод на рабочей подаче	Растачивание, развертывание



## 5. Значения вспомогательных функций

Вспомогательная функция	Наименование	Значение
M00	Программируемый останов	Останов без потери информации по окончании обработки соответствующего кадра. После выполнения команд происходит останов шпинделя, охлаждения, подачи. Работа по программе возобновляется нажатием кнопки
M01	Останов с подтверждением	Функция аналогична M00, но выполняется только при предварительном подтверждении с пульта управления
M02	Конец программы	Указывает на завершение обработки управляющей программы и приводит к останову шпинделя, подачи и выключению охлаждения после выполнения всех команд в кадре. Используется для приведения в исходное состояние УЧПУ и (или) исходное положение исполнительных органов станка
M03	Вращение шпинделя по часовой стрелке	Включает шпиндель в направлении, при котором винт с правой нарезкой, закрепленный в шпинделе, входит в заготовку
M04	Вращение шпинделя против часовой стрелки	Включает шпиндель в направлении, при котором винт с правой нарезкой, закрепленный в шпинделе, выходит из заготовки
M05	Останов шпинделя	Останов шпинделя наиболее эффективным способом. Выключение охлаждения
M06	Смена инструмента	Команда на смену инструмента вручную или автоматически (без поиска инструмента). Может автоматически отключать шпиндель и охлаждение
M07	Включение охлаждения № 2	Включение охлаждения № 2 (например, масляным туманом)
M08	Включение охлаждения № 1	Включение охлаждения № 1 (например, жидкостью)
M09	Отключение охлаждения	Отменяет M07, M08
M10	Зажим	Относится к работе с зажимным приспособлением подвижных органов станка
M11	Разжим	То же
От M12 до M18	Не определены	—
M19	Останов шпинделя в заданной позиции	Вызывает останов шпинделя при достижении им определенного углового положения
От M20 до M29	Постоянно не определены	—
M30	Конец информации	Приводит к останову шпинделя, подачи и выключению охлаждения после выполнения всех команд в данном кадре. Используется для установки в исходное состояние УЧПУ и (или) исходное положение исполнительных органов станка. Установка в исходное положение УЧПУ включает в себя возврат к символу "Начало программы"
От M31 до M47	Не определены	—

Окончание табл. 5

Вспомогательная функция	Наименование	Значение
M48	Отмена M49	—
M49	Отмена ручной коррекции	Функция, указывающая на отмену ручной коррекции скорости подачи $n$ (или) скорости главного движения и о возвращении этих параметров к запрограммированным значениям
От M50 до M57	Не определены	—
M58	Отмена M59	—
M59	Постоянная скорость шпинделя	Поддержание постоянным текущего значения скорости шпинделя независимо от перемещения исполнительных органов
От M60 до M89	Не определены	—
От M90 до M99	Не определены	—

Примечания: 1. Постоянно неопределенные и неопределенные вспомогательные функции предназначены для индивидуального использования в конкретных УЧПУ.

2. При использовании постоянно неопределенных и (или) неопределенных вспомогательных функций, указания о действии функций на один кадр или несколько кадров, до начала перемещения или после выполнения перемещения в данном кадре, должны быть приведены в эксплуатационной документации по ГОСТ 2.601-95 (в ред. 2001 г.) на конкретные УЧПУ.

### СИСТЕМА КООРДИНАТ СТАНКОВ С ЧПУ

Для станков с ЧПУ ГОСТ 23597-79 (в ред. 1991 г.) устанавливает обозначения осей координат и направлений движений рабочих органов станка, связанных с обрабатываемой заготовкой и режущим инструментом, что необходимо учитывать при подготовке УП и при работе станка.

Стандартная система координат представляет собой правую прямоугольную систему координат, связанную с заготовкой, оси которой параллельны прямолинейным направляющим станка (рис. 5). Линейные движения по осям координат обозначаются буквами  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ , а вращательные движения вокруг этих осей соответственно буквами  $A$ ,  $B$  и  $C$ .

По данному стандарту за основу принимается перемещение режущего инструмента относительно системы координат неподвижной заготовки. При этом положительное направление движения рабочего органа станка соответствует направлению отвода инструмента от заготовки. Исходя из этого направления движения рабочих органов, несущих инструмент, следует обозначать буквами без штриха,

а несущих заготовку — буквами со штрихом. При этом положительное направление движения, обозначаемое буквой со штрихом, противоположно соответствующему движению, обозначаемому той же буквой без штриха.

Принято, что ось  $Z$  проходит по оси шпинделя, несущего режущий инструмент на станках сверлильно-фрезерно-расточной группы или несущего заготовку в станках с ЧПУ токарной группы. Движение по оси  $Z$  в положительном направлении должно соответствовать направлению отвода инструмента от заготовки.

Ось  $X$  должна быть расположена предпочтительно горизонтально и параллельно поверхности крепления заготовки. Например, на токарных станках с ЧПУ с вращающейся заготовкой движение по оси  $X$  направлено по радиусу заготовки и параллельно поперечным направляющим. Положительное движение по оси  $X$  происходит, когда инструмент, установленный на главном резцедержателе поперечных салазок, отходит от оси вращения заготовки.

Положительное направление движения по оси  $Y$  следует выбирать так, чтобы ось  $Y$  вместе с осями  $Z$  и  $X$  образовывала правую прямоугольную систему координат (см. рис. 5).

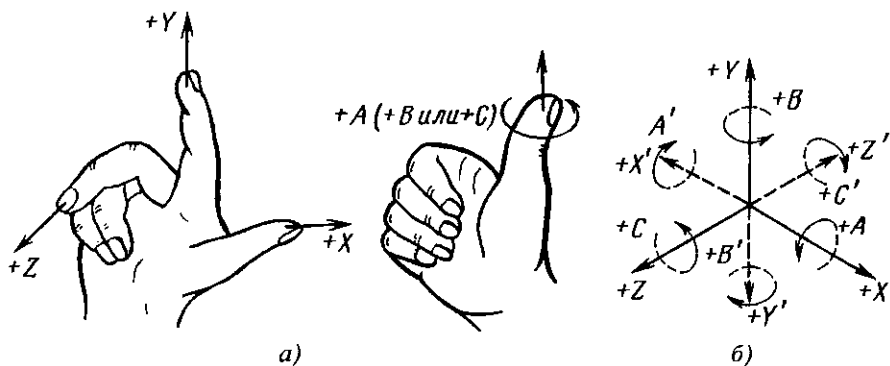


Рис. 5. Правая прямоугольная система координат:

а – правило правой руки при определении положительного направления осей координат;  
б – система координат

Положительные направления вращательных движений  $A$ ,  $B$  и  $C$  должны совпадать с направлением закручивания винтов с правой резьбой в положительных направлениях осей соответственно  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  (см. рис. 5).

Если дополнительно к основным (первичным) прямолинейным движениям  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  имеются вторичные движения параллельно им, они обозначаются соответственно  $U$ ,  $V$  и  $W$  (рис. 6). Если дополнительно имеются третичные движения, параллельные им, их обозначают соответственно  $P$ ,  $Q$  и  $R$ .

Если дополнительно к первичным вращательным движениям имеются вторичные вращательные движения, параллельные или непараллельные  $A$ ,  $B$  и  $C$ , их следует обозначать  $D$  и  $E$ .

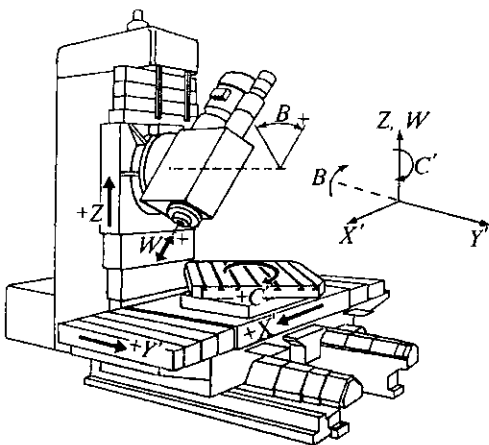


Рис. 6. Станок с ЧПУ с управлением по 6-ти координатам

В станках с ЧПУ значительно возросли сложность технологических задач и трудоемкость расчета и подготовки УП в связи с необходимостью точного определения траектории движения режущего инструмента в системе координат станка, увязки исходной точки обработки с положением заготовки и др.

В ГОСТ 20525–80 (в ред. 1987 г.) даны понятия нулевой, исходной и фиксированной точек станка с ЧПУ.

*Нулевой точкой* станка с ЧПУ является точка, принятая за начало системы координат станка. *Исходная точка* – это точка, определенная относительно нулевой точки станка и используемая для начала работы по УП. Ее выбирают на станке, исходя из условий минимальных значений вспомогательных ходов, обеспечения удобства и безопасности смены инструмента, а также удобства закрепления заготовки на станке. *Фиксированная точка* станка – это точка, определенная относительно нулевой точки станка и используемая для определения положения рабочего органа станка.

В указании стандарте приведены также понятия точки начала обработки, нулевой точки детали и плавающего нуля.

*Точка начала обработки* – это точка, определяющая начало обработки конкретной заготовки. Точку на детали, относительно которой заданы ее размеры, называют *нулевой точкой детали*.

*Плавающий ноль* – это свойство системы ЧПУ (УЧПУ) помещать начало отсчета перемещения рабочего органа в любое положение относительно нулевой точки станка.

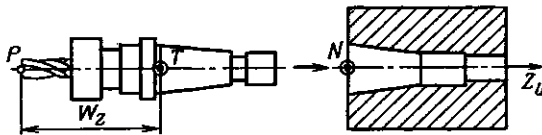


Рис. 7. Схема базирования инструмента

Система координат станка является главной расчетной системой, в которой определяются предельные перемещения, начальные и текущие положения рабочих органов станка.

Начало стандартной системы координат станка (нулевая точка станка) обычно совмещают с базовой точкой узла, несущего заготовку, зафиксированного в таком положении, при котором все перемещения рабочих органов станка могли бы описываться положительными координатами.

Точный останов рабочих органов в нулевом положении по каждой из координат обеспечивается датчиками нулевого положения.

Система координат режущего инструмента предназначена для задания положения его режущей части относительно державки. Начало системы координат инструмента располагают в базовой точке  $T$  инструментального блока, выбираемой с учетом особенностей его установки на станке (рис. 7). При установке блока на станке точка  $T$  часто совмещается с базовой точкой элемента станка, несущего инструмент, например, с точкой  $N$ . Неустраиваемая точка инструмента  $P$  обычно используется в качестве расчетной при вычислении траектории инструмента, элементы которой параллельны координатным осям.

Система координат детали – это система, в которой определены все размеры данной детали и даны координаты всех опорных точек контура детали. Система координат детали переходит в систему координат программы обработки – в систему, в которой даны координаты всех точек и определены все элементы, в том числе и размещение вспомогательных траекторий, которые необходимы для составления УП по обработке данной детали. Системы координат детали и программы обработки обычно совмещены и представляются единой системой, в которой и производится программирование и выполняется обработка детали. Система координат назначается технологом-программистом в соответствии с системой координат выбранного станка.

## ВИДЫ И СТРУКТУРА СИСТЕМ ЧПУ

Основой системы ЧПУ является устройство ЧПУ (УЧПУ). От его типа, структуры построения, функциональных возможностей зависят характеристики самой системы ЧПУ.

Исходя из технологических задач управления обработкой заготовок может применяться:

а) *позиционное ЧПУ* станком, при котором перемещение его рабочих органов происходит в заданные точки, причем траектории перемещения не задаются (рис. 8, а). Такие системы ЧПУ применяются в основном на сверлильных и расточных станках. В обозначении модели станка с такими системами ЧПУ записывается в конце индекс Ф2 (например: мод. 2Р135Ф2);

б) *контурное ЧПУ* станком, при котором перемещение его рабочих органов происходит по заданной траектории и с заданной скоростью для получения необходимого контура обработки (рис. 8, б–з). Такие системы ЧПУ применяются в основном на токарных и фрезерных станках. В обозначении модели станка с такими системами ЧПУ записывается индекс Ф3 (например: мод. 16К20Ф3, мод. 6Р13Ф3);

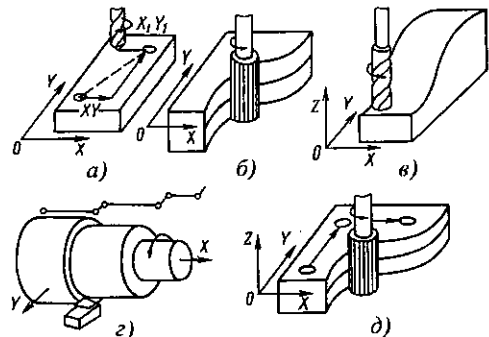


Рис. 8. Варианты управления станком:  
а – позиционное ЧПУ сверлильным станком;  
б и в – контурное ЧПУ фрезерным станком соответственно по двум и трем координатам;  
з – контурное ЧПУ токарным станком;  
д – комбинированное ЧПУ многоцелевым станком

в) *комбинированное ЧПУ станком*, позволяющее проводить управление станком в обоих вышеуказанных режимах (рис. 8, д). Такими системами ЧПУ оснащаются в основном многоцелевые станки. В обозначении модели станка записывается индекс Ф4 (например; мод. 2204ВМФ4, мод. 1740РФ4).

Системы ЧПУ и в частности устройства ЧПУ в своем развитии прошли несколько этапов, определяемых уровнем развития электронной техники, представляющей разработчикам этих систем управления определенную элементную базу: релейно-контакторную и транзисторную базы, микросхемы малой и средней степени интеграции, миии-ЭВМ и микропроцессоры.

В результате по структуре построения различают устройства ЧПУ двух видов:

а) аппаратные (типа NC-Numerical Control);

б) программируемые или микропроцессорные (типа CNC-Computer Numerical Control).

*Аппаратным устройством ЧПУ*, или устройством с жесткой структурой, называют устройство, алгоритмы работы которого реализуются схемным путем и не могут быть изменены после изготовления устройства. Эти устройства ЧПУ (например: Н22, Н33,

Размер-2М и др.) широко применялись ранее для управления различными типами отечественных станков.

*Программируемым устройством ЧПУ* называют устройство, алгоритмы работы которого реализуются с помощью программ, вводимых в его память, и могут быть изменены после изготовления этого устройства (рис. 9).

Принципиальным отличием программируемых УЧПУ от аппаратных является их структура, соответствующая структуре управляющей ЭВМ и включающая аппаратные средства и *программное обеспечение* (ПО), под которым понимают совокупность программ и документации на них для реализации целей и задач, выполняемых системой ЧПУ при управлении станком. В состав программируемой системы ЧПУ входит одна или несколько микроЭВМ, основой которых являются микропроцессоры. Поэтому эти системы ЧПУ называют также микропроцессорными, а когда несколько микроЭВМ, то мультипроцессорными.

ПО программируемых систем ЧПУ в общем виде состоит из трех частей:

а) *системное ПО*, которое обеспечивает распределение ресурсов системы ЧПУ, организацию процесса обработки, ввода-вывода и управления данными;

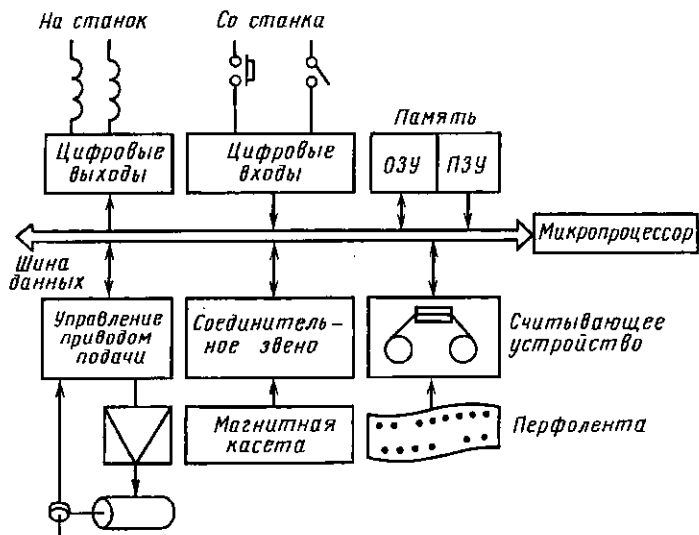


Рис. 9. Увеличенная структурная схема программируемого УЧПУ (класса CNC)

б) *технологическое* ПО, обеспечивающее реализацию задач управления применительно к различным технологическим группам станков (токариых, фрезерных, сверлильных и др.);

в) *функциональное* ПО, обеспечивающее реализацию задач управления применительно к различным моделям станков внутри каждой группы.

Возможности программируемых систем ЧПУ зависят также от объема их запоминающих устройств (памяти). Эти системы могут иметь три вида памяти:

а) *оперативное запоминающее устройство* (ОЗУ) с высоким быстродействием, допускающее считывание и запись информации в режиме реального времени. Эти ОЗУ используются для временного хранения данных (УП, различных видов коррекций подач, частоты вращения шпинделя, радиуса и длины инструмента и др.) в ходе реализации УП;

б) *постоянно программируемое запоминающее устройство* (ПЗУ), только считываемое, не меняющее своего содержания в ходе нормальной работы УЧПУ и сохраняющее информацию при отключении электропитания. Оно применяется для хранения программ функционирования (внутреннее программное обеспечение собственно микропроцессора и прикладное программное обеспечение УЧПУ) и постоянных данных;

в) *перепрограммируемое постоянное запоминающее устройство* (ППЗУ). Содержание ППЗУ может быть изменено многократно. При этом при электрическом стирании памяти число циклов перепрограммирования составляет не менее  $10^4 \dots 10^5$ , а при ультрафиолетовом стирании число циклов перепрограммирования не превышает 100.

Первая серия российских программируемых УЧПУ была реализована на основе применения двух специализированных микроЭВМ "Электроника НЦ-31" и "Электроника НЦ 80-31". Другая серия УЧПУ выпускалась на базе микроЭВМ "Электроника-60" и сводилась практически к трем весьма близким модификациям УЧПУ типов 2Р22, 2С42 и 2С85. Было также разработано и применялось мультипроцессорное программируемое УЧПУ серии "Электроника МС 2101". В зависимости от типа управляемого станка и задач управления в состав данного УЧПУ входят два или три блока, каждый из которых имеет отдельную микроЭВМ.

В настоящее время разработаны и применяются новые УЧПУ типа "4С", NC-100, NC-110, NC-200, "Альфа", "Микрос 12Г", КРТ4-00 и др.

Общие технические требования на программируемые устройства ЧПУ и их классификацию устанавливает ГОСТ 21021-2000.

По данному стандарту основной является классификация УЧПУ по функциональной направленности и по возможностям обеспечения требуемой траектории движения (формообразованию). Она приведена в табл. 6.

Классификацию УЧПУ по данному стандарту можно также проводить по следующим дополнительным признакам.

1. По способу подготовки и ввода управляющих программ УЧПУ подразделяют:

- с непосредственным заданием управляющих программ на пульте устройства;
- с заданием управляющих программ на внешнем программноносителе (например фотосчитывающее устройство, кассетный магнитофон, устройство считывания по типу ЭВМ);
- с заданием управляющих программ по каналу связи от внешней ЭВМ или от управляющих устройств высшего уровня.

Для удобства отладки программы возможно сочетание нескольких способов подготовки и ввода управляющих программ.

2. По возможности визуализации информации для оператора УЧПУ подразделяют:

- с цифровыми таблицами и мнемосхемами;
- с буквенно-цифровым дисплеем с псевдографическими мнемосхемами;
- с графическим дисплеем.

3. По способам управления электроавтоматикой станка УЧПУ подразделяют:

- с жесткой (непрограммируемой) автоматикой;
- с частично программируемой автоматикой;
- с полностью программируемой автоматикой.

4. По способу взаимодействия с сетевыми системами управления УЧПУ подразделяют на:

- автономные (независимые от сети);
- локальные (представляющие собой оконечный узел сети у станка);
- групповые (обслуживающие несколько станков или несколько локальных УЧПУ).

5. По возможностям автоматического изменения параметров работы УЧПУ в процессе работы в зависимости от фактических условий обработки деталей УЧПУ подразделяют:

- с жестким заданием параметров;
- адаптивные (с самонастройкой по условиям работы).

## 6. Основная классификация и основные особенности УЧПУ

Тип УЧПУ по функциональной ориентации управляемых станков	Класс УЧПУ по возможностям формообразования и дополнительным признакам					Условное обозначение (русское/латинское)
	цикло-вой	позиционный	контурный по двум осям	контурный по трем осям	контурный по более чем трем осям	
	0	1	2	3	4	
Токарные станки	–		Нарезание резьбы, включая коническую	Угловое позиционирование шпинделей; нарезание конической резьбы	Нарезание конической резьбы на двухшпиндельных станках	T/T
Фрезерные станки (сверлильно-фрезерно-расточные)		–		Нарезание резьбы фрезой		F/F
Шлифовальные станки	–		Контурная обработка и адаптивность	Криволинейно-пространственная обработка и адаптивность		Ш/G
Зубообрабатывающие станки	–		Электроинный вал			Z/Z
Роботы	–	Обучение		Обучение и адаптивность		R/R
УЧПУ для специальных станков (например агрегатные, пружинонавивочные, трубогибы, машины термической резки и др.)	Специальные функции и алгоритмы					C/S
УЧПУ без функциональной ориентации (общего назначения)	–					Без индекса

6. По построению УЧПУ подразделяют:

– на базе оригинальных аппаратных средств и программно-математического обеспечения (ПМО);

– на базе персональных компьютеров в промышленном исполнении и их ПМО.

7. По назначению УЧПУ подразделяют:

– для широкого круга потребителей и моделей станков и роботов;

– для определенной модели станка или робота для конкретного потребителя.

При рассмотрении характеристик (свойств) устройств ЧПУ указанным выше стандартом устанавливаются требования:

а) назначения; б) надежности; в) радиоэлектронной защиты; г) стойкости к внешним воз-

действиям и живучести; д) эргономики; е) технологичности; ж) конструктивные требования.

В соответствии с требованиями назначения в устройстве ЧПУ должны быть обеспечены основные технологические функции в соответствии с табл. 7 и основные эксплуатационные и сервисно-информационные функции в соответствии с табл. 8. При этом при заказе устройства ЧПУ для конкретной модели универсального или специального станка основные технические характеристики устройства ЧПУ устанавливаются в технических документах на конкретные устройства ЧПУ заказчиком и изготовителем исходя из технологических возможностей станка данной модели.

## 7. Основные технологические функции УЧПУ

Технологическая функция	Типы и классы УЧПУ																											
	Т				Ф				Ш				З				Р				Системы общего назначения							
	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3				
Позиционирование	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	0	0	0	0	-	0	0	0
Контурная обработка по двум осям	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	-	-	0	0
Контурная обработка по трем осям	-	-	-	0	-	-	-	0	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-	-	-	0
Виды интерполяции:																												
линейная	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	-	-	-	0	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0
круговая	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Р	0	-	-	-	0	0
витовая	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
сплайн	-	-	Р	Р	-	-	Р	0	-	-	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	-	-	-	0
Нарезка резьбы	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Позиционирование шпинделя	-	-	Р	0	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Электронная гитара (электронный вал)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Возможность корректировки подачи на ходу	-	Р	0	0	-	Р	0	0	-	0	0	0	-	-	0	0	-	0	0	0	-	0	0	0	-	-	-	-
Программная компенсация систематической погрешности по осям	-	Р	0	0	-	Р	0	0	-	0	0	0	-	Р	0	0	-	-	0	0	-	-	0	0	-	-	-	0
Автоматическая смена инструмента	-	Р	0	0	-	Р	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0



Окончание табл. 7

Технологическая функция	Типы и классы УЧПУ																																		
	Т					Ф					Ш					З					Р					Системы общего назначения									
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4					
Программная компенсация гистерезиса (люфта)	-	P	O	O	O	-	P	O	O	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	O	O	O	O
Обработка с защитным припуском	-	O	O	O	O	-	O	O	O	O	-	O	O	O	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	O	O	O	O
Задаание размера с числовым или буквенным допуском	-	P	O	O	O	-	P	O	O	O	-	P	O	O	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Функция "Пред-установка"	-	-	O	O	O	-	-	O	O	O	-	-	O	O	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	O	O	O	O
Рекомендации оператору по режимам обработки	-	-	P	P	P	-	-	P	P	P	-	P	P	P	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Учет радиуса инструмента (эквидистанта)	-	O	O	O	O	-	O	O	O	O	-	-	O	O	-	O	O	O	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	O	O	O	O	

Примечание. O – обязательная функция; P – рекомендуемая функция.

При построении устройства ЧПУ на базе персональных компьютеров промышленного исполнения основные эксплуатационные и сервисно-информационные функции могут быть расширены или изменены в соответствии с возможностями персональных компьютеров и их ПМО.

В требованиях к программно-информационным характеристикам устройств ЧПУ указывается, что для системного программного обеспечения в технических документах на УЧПУ конкретного типа должны быть заданы следующие основные технические характеристики:

– номенклатура обменных сигналов, обеспечивающих управление приводами подачи и главного движения;

– номенклатура обменных сигналов, обеспечивающих прием и обработку сигналов от измерительных преобразователей;

– номенклатура обменных сигналов, обеспечивающих обмен информацией между системой программного управления и внешними устройствами (пульт управления оператора, ПЭВМ, фотосчитывающее устройство, перфоратор, устройство печати, сетевой контроллер и др.);

## 8. Основные эксплуатационные и сервисно-информационные функции

Эксплуатационная и сервисно-информационная функция	Класс формобразования				
	0	1	2	3	4
Цифровая индикация параметров работы оборудования	–	О	О	О	О
Плавающий нуль	–	О	О	О	О
Функция опорной точки	–	О	О	О	О
Изменение направления отсчета перемещений по осям	–	О	О	О	О
Работа в приращениях	–	О	О	О	О
Функция "Преднабор" – обработка единичного перемещения без составления программы	–	О	О	О	О
Ограничение рабочего пространства	–	Р	О	О	О
Автоматическое гашение быстромелькающих разрядов	–	О	О	О	О
Запись программы при ручной обработке первой детали по функции "Автозапись"	–	О	О	О	О
Повторение любой части программы не менее 1000 раз	–	О	О	О	О
Синтаксический контроль действий оператора	–	О	О	О	О
Диагностика правильности работы УЧПУ	О	О	О	О	О
Переключение "миллиметры – дюймы"	–	Р	О	О	О
Функция "Переход на следующий кадр по внешней команде"	–	О	О	О	О
Функция "Возврат на начало кадра" в отладочных режимах	–	О	О	О	О
Индикация расстояния до цели при обработке позиционных кадров	–	О	О	О	О
Калькулятор	–	Р	О	О	О
Инструкции по подготовке станка к работе (на дисплее)	–	Р	Р	О	О
Режим "Справка" ("Помощь")	–	Р	Р	О	О
Формирование открытых подпрограмм	–	Р	Р	О	О
Дуплекс-режим по технологическим режимам	Р	Р	Р	Р	Р
Проверочный прогон программы при измененных подачах	Р	Р	Р	О	О
Выход на начало требуемого кадра программы	Р	О	О	О	О
Функция "Блок – кадр"	–	О	О	О	О
Подсчет контрольного числа и контроль по этому числу	–	Р	О	О	О
Библиотека стандартных подпрограмм	–	–	О	О	О
Электронные часы (фиксация времени включения и отключения, числа циклов, времени отказов и аварийных отключении и т.д.)	–	–	О	О	О
Преобразование "градусы – минуты – секунды"	–	–	Р	О	О
Преобразование "декартовы – полярные координаты"	–	–	Р	О	О
Графическое отображение программы обработки (в т.ч. с изменением масштаба) без ее отработки	–	Р	Р	О	О

Примечание. О – обязательная функция; Р – рекомендуемая функция.

- номенклатура языков пользователя при их наличии (например, язык формирования специальных подпрограмм и циклов, язык программирования электроавтоматики станка, язык представления информации обмена с ПЭВМ и др.);

- номенклатура команд каждого языка, входящего в состав программного обеспечения, с разбивкой по группам (при необходимости);

- типы интерполяции;
- номенклатура системных параметров, доступных потребителю;
- состав диагностических программ;
- виды индикации.

*Системное программное обеспечение* должно обеспечивать возможность модификации базового и создание нового технологического и функционального программного обеспечения.

Для базового *технологического программного обеспечения* в технических документах на УЧПУ конкретного типа должны быть заданы:

- число управляемых приводов координатных перемещений, в том числе одновременно;

- взаимовязка управляемых приводов координатных перемещений посредством выбранных типов интерполяции;

- дискретность задания перемещений по каждой оси;

- максимальное программируемое перемещение по каждой оси;

- предельные значения рабочих подач и ускоренных перемещений;

- диапазон допустимых (регулируемых) ускорений при разгоне (торможении) на рабочих подачах и ускоренных перемещениях;

- состав реализуемых функций управления (вспомогательные и подготовительные функции, функции управления подачей и главным движением, виды интерполяции, номенклатура режимов работы);

- виды коррекции, предельные значения коррекции и количество корректоров по каждой группе;

- форма представления вводимой информации, в том числе по управляющим программам;

- номенклатура и (или) формат команд языка ввода информации;

- состав технологических циклов;

- номенклатура станочных параметров, технологического уровня;

- режимы индикации;

- состав и форматы индицируемых сообщений.

Для *функционального программного обеспечения* в технических документах на УЧПУ конкретного типа должна быть оговорена форма задания функций электроавтоматики станка программным способом на языке, доступном потребителю с выдачей сигналов М, S, T в кодированном виде по ГОСТ 20999–83.

В устройствах ЧПУ должен быть интерфейс, позволяющий непосредственно (или через специальный контроллер) подключать устройство ЧПУ к ПЭВМ, что обеспечит возможность обмена информацией между устройством и ПЭВМ для составления и анализа программ, определения состояния входов-выходов устройства ЧПУ, проверки его параметров и т.д.

В устройстве ЧПУ должны быть обеспечены основные режимы работы в соответствии с табл. 9.

Устройства ЧПУ относят к обслуживаемым и восстанавливаемым изделиям с циклическим режимом работы и проведением регламентационных работ.

Надежность устройств ЧПУ определяют показателями безотказности, ремонтпригодности и долговечности и устанавливают в технических документах на устройство ЧПУ конкретного типа. Количественные показатели и нормы надежности устанавливаются в соответствии с табл. 10. Критерии отказов и способы устранения отказов устанавливают в технических документах на устройства ЧПУ конкретного типа.

Устройства ЧПУ должны сохранять работоспособность при помехах от электрооборудования станка и сети питания, не превышающих значений, указанных в табл. 11 и в ГОСТ 26642–85.

Требования стойкости к внешним воздействиям и живучести, эргономики, технологичности и конструктивные требования подробно изложены в стандарте. Там же устанавливаются требования безопасности, комплектности, маркировки и упаковки устройства ЧПУ.

## 9. Основные режимы работы УЧПУ

Режим	Подрежим и (или) функция	Класс УЧПУ				
		0	1	2	3	4
Подготовка оборудования к работе	Общий инструктаж	–	Р	О	О	О
	Проверка готовности по отдельным агрегатам	–	–	О	О	О
	Задание изменяемых оперативных параметров УЧПУ	–	О	О	О	О
	Справка	–	Р	Р	Р	Р
Наладка	Ручные (кнопочные) иладочные перемещения и другие функции управления	О	О	О	О	О
	Координатная привязка (ввод опорной точки)	–	О	О	О	О
	Ограничение рабочего пространства	–	Р	О	О	О
	Вызов и просмотр библиотеки программ	–	–	О	О	О
	Вызов требуемой управляющей программы	–	–	О	О	О
	Справка	–	Р	Р	О	О
Ручной (ручное управление)	Ручное управление всеми движениями	О	О	О	О	О
	Предиабор простейших движений и их отработка	–	О	О	О	О
	Вызов простейших готовых программ и их отработка	–	–	О	О	О
	Справка	–	Р	Р	О	О
Работа по программе	Вызов и просмотр требуемой УП	–	–	О	О	О
	Проверочный прогон УП без движения	–	–	О	О	О
	Проверочный прогон УП с изменяемыми подачами	–	О	О	О	О
	Отработка УП по кадрам	О	О	О	О	О
	Отработка УП непрерывно	О	О	О	О	О
	Специальные подрежимы отладки УП	–	–	Р	Р	О
	Справка	–	Р	Р	О	О
Ввод и редактирование данных (ввод-вывод)	Ввод параметров, закрытых для пользователя	–	Р	О	О	О
	Ввод параметров, открытых для пользователя	–	О	О	О	О
	Ввод УП	О	О	О	О	О
	Синтез подпрограммы пользователем	–	–	О	О	О
	Синтез текстовых сообщений и комментариев пользователем	–	–	Р	О	О
	Синтез таблиц подрежима "Справка"	–	–	Р	О	О
	Ввод программы работы электроавтоматики	–	–	О	О	О

Примечание. О – обязательная функция; Р – рекомендуемая функция.

## 10. Количественные показатели и нормы надежности

Показатель надежности	Норма
Наработка на отказ $T_0$	Устанавливается в технических документах на УЧПУ конкретного типа в зависимости от комплекта с учетом обеспечения общих технических требований на станки и промышленные роботы
Коэффициент технического использования $K_{т.и}$	Не менее 0,96
Среднее время восстановления $T_в$	Не более 60 мин
Средний срок службы $T_c$	Не менее 14 лет

Примечания: I. Отказом УЧПУ следует считать нарушение работоспособности УЧПУ, не устраняемое перезапуском.

2. При оценке соответствия УЧПУ, наработке на отказ и установленной безотказной наработке не учитывают отказы, вызванные нарушением правил условий и режимов эксплуатации и испытаний.

## 11. Помехи от сети питания УЧПУ

Вид помехи	Параметр помехи	Допустимый уровень помехи
Импульсная помеха	Амплитуда	200 % амплитудного значения номинального напряжения сети, но не более 620 В
	Длительность	Выбирается из ряда 0,25; 1; 10; 100; 1000 мкс
Провал	Амплитуда	Не более 50 % номинального значения напряжения сети
	Интервал между двумя провалами	Не менее 1 мс
Прерывание питания	Амплитуда	Снижение напряжения сети до нуля
	Длительность	Не более 10 мс
	Интервал между двумя прерываниями напряжения питания	Не менее 1 с
Радиопомехи	Напряжение (действующее значение)	2 % номинального значения напряжения сети, но не более 4,4 В

В соответствии с ГОСТ 26642-85 связи между устройством ЧПУ и станком функционально подразделяются на четыре группы (рис. 10):

I – цепи управления приводами подачи и главного движения. Устройство ЧПУ должно обеспечивать выходные сигналы прямо пропорционально рассогласованию по пути и, при необходимости, по скорости. Максимальные значения напряжения сигналов должны быть равными  $\pm 10$  В;

II – взаимные связи с системами измерения и измерительными преобразователями, включая их цепи питания, а также цепи от

тахогенератора, если они подаются на устройство ЧПУ. В технических условиях на устройство ЧПУ конкретного типа должны быть указаны типы измерительных преобразователей, которые допускается применять с данными устройствами ЧПУ, и даны рекомендации по возможной замене преобразователей;

III – цепи питания и цепи защитного заземления и зануления (защитная цепь);

IV – цепи сигналов на включение и выключение, в том числе сигналов функций M, S, T и дополнительных адресов, сигналов путевых выключателей, блокировок, стоп команд, сигнализации и т.д.

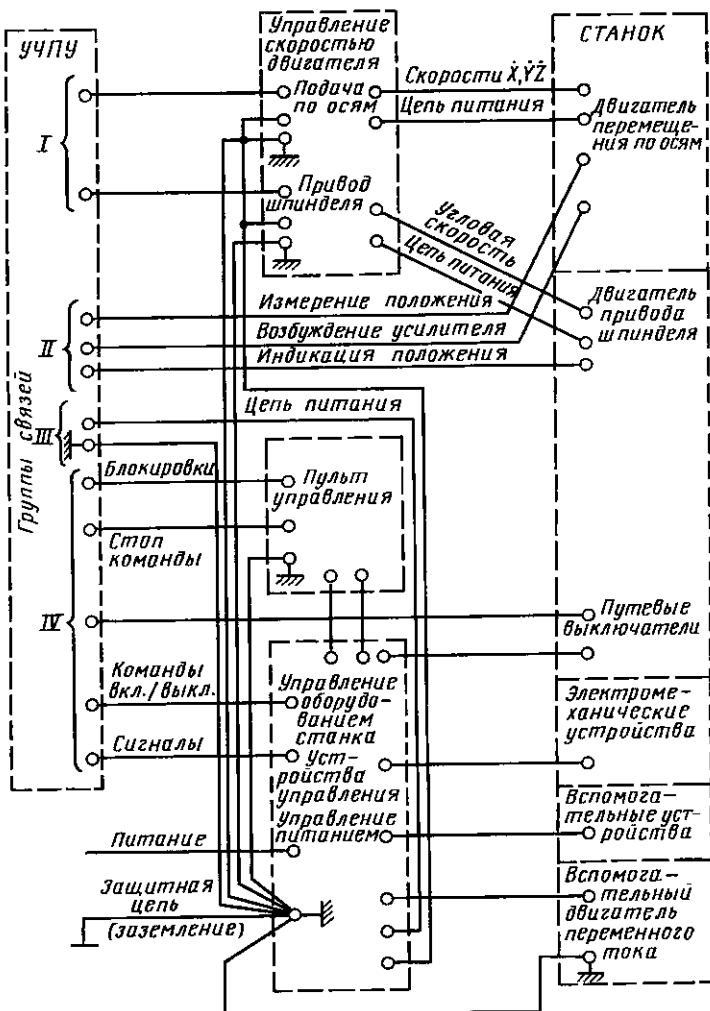


Рис. 10. Группы соединений интерфейса (системы связей) станка с УЧПУ

### ВИДЫ И ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПРИВОДАМИ ПОДАЧ В СТАНКАХ С ЧПУ

Системы ЧПУ станками могут строиться с управлением приводами подач без обратной связи (разомкнутыми) и с обратной связью (замкнутыми).

Разомкнутые системы ЧПУ строят на основе применения силовых или несиловых шаговых электродвигателей (ШД). В последнем случае ШД применяют в комплекте с гидросилителем (ГУ) (рис. 11, а). В связи с отсут-

ствием контроля действительного положения рабочего органа станка, несмотря на простоту этих систем, на точность перемещения рабочих органов станка будут влиять погрешности ШД, ГУ, передачи ходовой винт – гайка привода подачи. В настоящее время разомкнутые системы ЧПУ применяются очень редко.

Замкнутые системы ЧПУ могут выполняться в трех вариантах с применением измерительных преобразователей (ИП), которые в соответствии с ГОСТ 26242–90 подразделяются на: а) ИП для измерения угловых перемещений и б) ИП для измерения линейных перемещений рабочих органов станка.

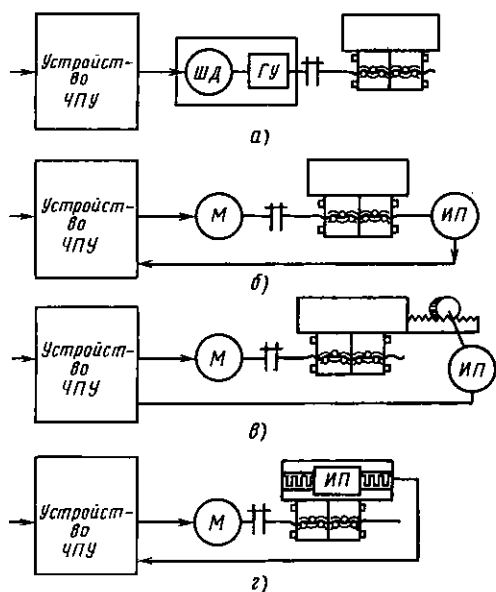


Рис. 11. Схемы управления приводом подачи станка с ЧПУ:

а – разомкнутого типа; б – замкнутого с круговым ИП на ходовом винте; в – с круговым ИП с реечной передачей; г – с линейным ИП

В системах ЧПУ первого вида (рис. 11, б) производится косвенное измерение положения рабочего органа станка с помощью кругового ИП, установленного на ходовом винте. Эта схема достаточно проста и удобна с точки зрения установки ИП. Габариты применяемого ИП не зависят от величины измеряемого перемещения. Но при этом предъявляются высокие требования к точностным параметрам передачи ходовой винт – гайка, которая в этом случае не охватывается обратной связью. Однако применение в приводах подачи станков с ЧПУ точно изготовленных передач ходовой винт – гайка с трением качения и создание в них предварительного натяга для устранения зазоров и увеличения жесткости позволяют широко применять замкнутые системы ЧПУ первого типа во многих станках с ЧПУ.

В замкнутых системах ЧПУ второго типа (рис. 11, в) применяют также круговой ИП, но измеряющий через реечную передачу непосредственно перемещение рабочего органа станка. Однако здесь в измерение вносится погрешность реечной передачи. Кроме того, длина рейки будет зависеть от величины хода рабочего органа станка. Такой тип обратной связи применяется очень редко.

Третий тип замкнутых систем ЧПУ – с линейным ИП (рис. 11, г). Такая система обратной связи обеспечивает непосредственное измерение перемещения рабочего органа станка и позволяет охватить обратной связью все передаточные механизмы привода подачи, чем достигается высокая точность перемещений. Однако линейные ИП сложнее и дороже, чем круговые. Его габариты зависят от длины хода рабочего органа станка. Установка линейного ИП на станке и его эксплуатация – трудоемкие процессы. На точность измерения такими ИП могут оказывать влияние погрешности станка (температурные деформации узлов станка, погрешности их геометрических параметров, износ направляющих).

По физическому принципу эквивалентного преобразования ИП в соответствии с указанным выше стандартом подразделяются на: акустооптические (А); волновые (В); голографические (Г); емкостные (электростатические) (Е); индукционные (И); квантовые (лазерные) (К); магнитоэлектрические (гальваномагнитные) (М); полупроводниковые (на ПЗС-структурах) (П); резистивные (потенциметрические) (Р); ультразвуковые (У); фотоэлектрические и оптоэлектронные (Ф); электромагнитные (индуктивные) (Э).

Для ИП устанавливают 12 классов точности: 001, 01, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10. Предел допускаемого значения погрешности  $\Delta_d$  ИП не должен превышать значений, указанных в табл. 12. Предельная погрешность ИП принимается как наибольшее по абсолютной величине отклонение от действительного значения между двумя любыми точками во всем интервале перемещения, исключая дискретность и погрешность устройства, с которым они проверяются или работают.

В значения предельных погрешностей, указанных в табл. 12, входят все разновидности систематических погрешностей, свойственные ИП конкретного типа, и их случайные составляющие. Допускаемая вероятность выхода фактической погрешности за верхнюю границу класса точности должна быть указана в технических условиях на ИП конкретного типа.

Показатели надежности ИП устанавливают для условий эксплуатации, заданных в технических условиях на ИП конкретного типа. Показателями безотказности ИП являются средняя наработка на отказ ( $T_0$ ) или средняя наработка до отказа ( $T_{cp}$ ). Минимально допускаемые

## 12. Допускаемые значения погрешности ИП

Класс точности	Предел допускаемого значения погрешности перемещений, $\Delta_d$		Нормальное значение температуры окружающего воздуха, °С
	угловых	линейных, мкм	
001	0,25"	0,1 + 0,2 L	20 ± 0,1
01	0,5"	0,25 + 0,5 L	
1	1"	0,5 + 1,2 L	20 ± 0,2
2	2"	1 + 2,5 L	
3	5"	2 + 4,5 L	20 ± 0,5
4	15"	5 + 8 L	20 ± 1
5	30"	10 + 15 L	20 ± 2
6	60"	2 + 30 L	
7	150"	40 + 50 L	20 ± 5
8	300"	80 + 100 L	
9	600"	150 + 200 L	
10	Не нормируются		

Примечание.  $L$  – безразмерная величина, численно равная длине перемещения в метрах;  $L = 0$  для преобразователей угловых перемещений.

значения  $T_o$  ( $T_{cp}$ ) в часах определяют по формуле

$$T_o (T_{cp}) = 15 \cdot K \cdot 10^3,$$

где  $K = \frac{1 + \sqrt{K_\tau}}{3 + \sqrt{L}}$ ;  $K_\tau$  – коэффициент, численно

равный порядковому номеру класса точности с 1 по 10. Для ИП класса точности 01 и 001 этот коэффициент равен 0,5;  $L$  – см. табл. 12.

Отказом следует считать прекращение функционирования или увеличение погрешности при нормальном значении температуры более чем в два раза от номинального значения погрешности, указанного в паспорте или руководстве по эксплуатации на ИП. Средний срок службы ИП ( $T_{cp}$ ) должен быть не менее 14 лет.

Обозначение ИП в технической документации и при заказе должно содержать:

– обозначение ИП – П;

– обозначение вида входной физической величины преобразования (Л – для линейных перемещений, У – для угловых перемещений);

обозначение физического принципа эквивалентного преобразования – А, В, Г и др. (см. выше).

Так, например, условные обозначения индукционного (И) малогабаритного ИП (П) линейных перемещений (Л) – ПЛИ-М, где М – конструктивное исполнение; фотоэлектрического (Ф) ИП (П) угловых перемещений (У) – ПУФ-ВЕ-178, где ВЕ-178 – конструктивное исполнение.

### КОМПОНОВОЧНО-КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ СТАНКОВ И СТАНОЧНЫХ СИСТЕМ

Применение систем ЧПУ оказало влияние на дальнейшее совершенствование и развитие компоновки станков, конструктивных решений их узлов и механизмов.

Широкие функциональные возможности систем ЧПУ позволили разработать станки с широкими технологическими возможностями и высоким уровнем автоматизации их управления. Наряду с единичными станками были разработаны различные станочные системы, имеющие наряду с высокой производительностью высокую мобильность, что позволило эффективно применять их для автоматизации обработки заготовок в среднесерийном и мелкосерийном производствах.



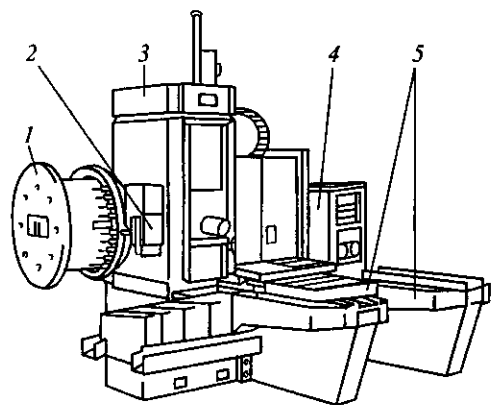


Рис. 12. Общий вид и компоновка многоцелевого станка:

1 – инструментальный магазин; 2 – автоматическая рука смены режущего инструмента; 3 – станок; 4 – устройство ЧПУ; 5 – устройство автоматической смены заготовок и готовых деталей

Первоначально были разработаны и применялись станки с ЧПУ разного типа (токарные, сверлильные, расточные, шлифовальные и др.), структура которых была показана на рис. 1. Затем были разработаны ранее не выпускаемые многоцелевые станки с широкими технологи-

скими возможностями и высокой степенью автоматизации. Из-за необычных технологических возможностей этих станков их первоначально называли сверлильно-фрезерно-расточными станками, затем "обрабатывающими центрами", многооперационными станками.

Структурная схема многоцелевого станка показана на рис. 13, а общий вид на рис. 12.

Далее на базе многоцелевых станков были разработаны гибкие производственные модули (ГПМ), для обработки, как правило, корпусных деталей (рис. 14), или на базе токарных многоцелевых станков с загрузкой заготовок промышленными роботами, получившими название роботизированных технологических комплексов (РТК) (рис. 15).

В соответствии с ГОСТ 26228–90 под ГПМ понимается единица технологического оборудования, автоматически осуществляющая технологические операции в пределах его технических характеристик, способная работать автономно и в составе гибких производственных систем или гибких производственных ячеек. В средства автоматизации ГПМ в общем случае входят: а) устройство ЧПУ для автоматизации последовательности действий рабочих органов технологического оборудования, включая

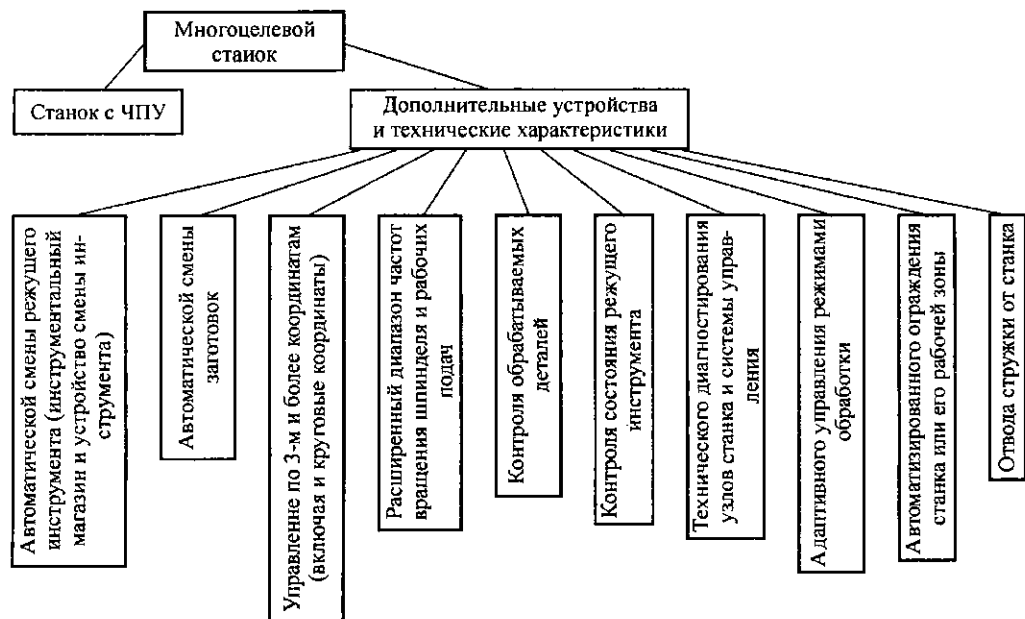
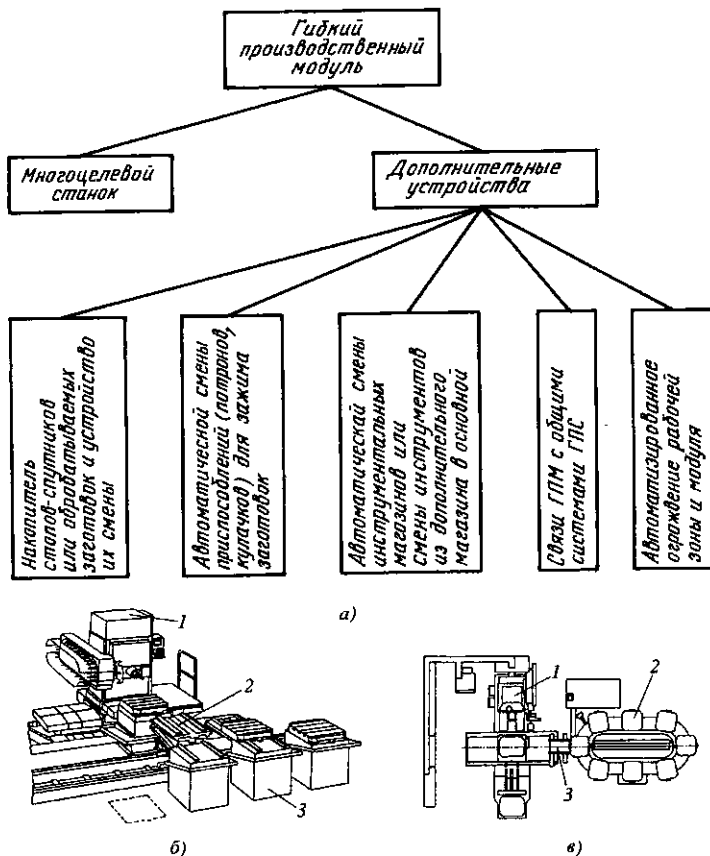
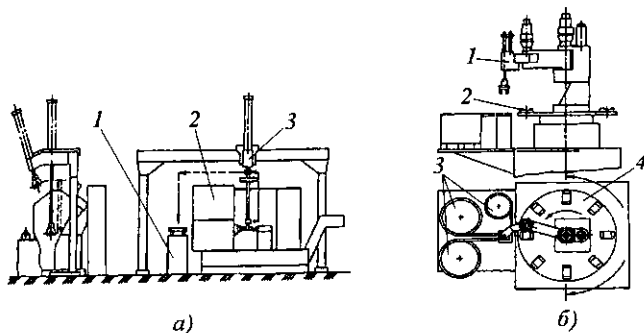


Рис. 13. Структурная схема многоцелевого станка



**Рис. 14. Гибкий производственный модуль:**

*а* – структура построения; *б* – ГПМ с линейным стационарным накопительным устройством заготовок и транспортной тележкой (1 – станок с ЧПУ; 2 – транспортная тележка; 3 – позиция со сменным столом с заготовкой); *в* – с овальным поворотным накопительным устройством заготовок (1 – станок с ЧПУ; 2 – накопительное устройство заготовок; 3 – поворотное перегрузочное устройство)



**Рис. 15. Роботизированные технологические комплексы:**

*а* – на базе токарного станка с ЧПУ (1 – накопительное устройство для заготовок и готовых деталей; 2 – станок с ЧПУ; 3 – промышленный робот);  
*б* – сборочный РТК (1 – промышленный робот с многопозиционным захватом; 2 – позиция сборки на поворотной карусели; 3 – вибрационные загрузочные устройства отдельных деталей)

смену заготовок, изделий, инструмента, подачу СОЖ, удаление отходов, переналадки; б) устройство адаптивного управления для автоматизации регулирования параметров технологического процесса при изменении условий его выполнения; в) устройство контроля и измерения во время или после операции для автоматизации подладки оборудования; г) устройство диагностики оборудования для автоматизации выявления и устранения неисправностей и т.д.

При работе в составе гибких производственных ячеек или гибких производственных систем средства автоматизации ГПМ определяют организацию информационных и материальных потоков.

Следующей структурной единицей гибких производственных систем является гибкая производственная ячейка (ГПЯ). Это управляемая средствами вычислительной техники совокупность нескольких ГПМ и системы обеспечения функционирования, осуществляющая комплекс технологических операций, способная работать автономно и в составе гибких производственных систем при изготовлении изделий в пределах подготовленного запаса заготовок и инструмента.

Разновидностью ГПЯ, в которой технологическое оборудование расположено в принятой

последовательности технологических операций, является гибкая автоматическая линия (ГАЛ).

Дальнейшим развитием применения станков с ЧПУ (в том числе и многоцелевых станков) стало создание станочных систем (рис. 16), одной из разновидностью которых стали гибкие производственные системы (ГПС), под которыми понимается управляемая средствами вычислительной техники совокупность технологического оборудования, состоящего из разных сочетаний ГПМ и (или) ГПЯ, автоматизированной системы технологической подготовки производства и системы обеспечения функционирования, обладающая свойством автоматизированной переналадки при изменении программы производства изделий, разновидности которых ограничены технологическими возможностями оборудования (рис. 17).

ГОСТ 26228-90 устанавливает классификационные группировки ГПС по следующим признакам классификации: комплектности изготовления изделий; методам обработки формообразования, сборки и контроля; разновидности обрабатываемых изделий; уровню автоматизации.

На базе ГПМ, ГПЯ и ГПС строятся такие гибкие организационные структуры производства, как гибкие автоматизированные участки (ГАУ), гибкие автоматизированные цеха (ГЦ) и гибкие автоматизированные заводы (ГАЗ).

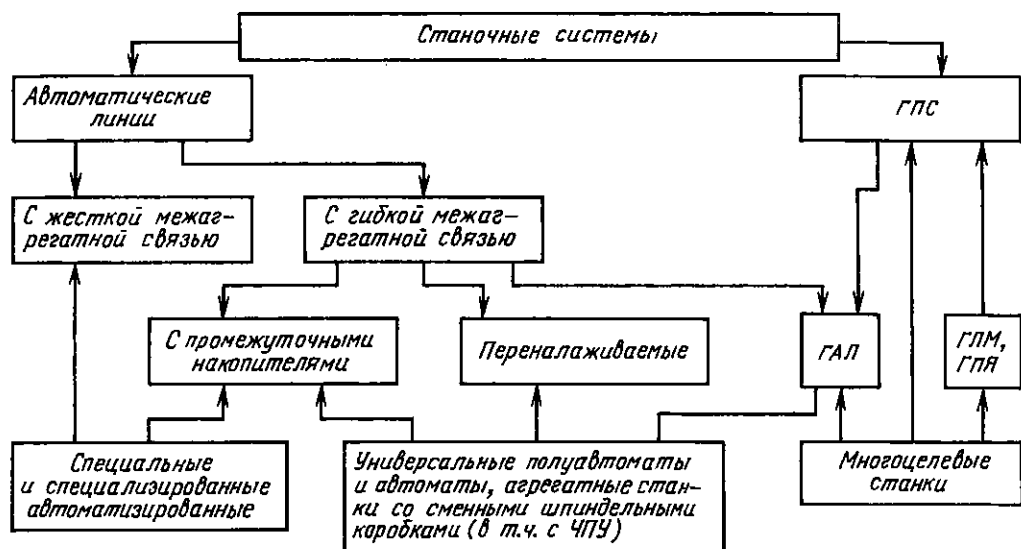
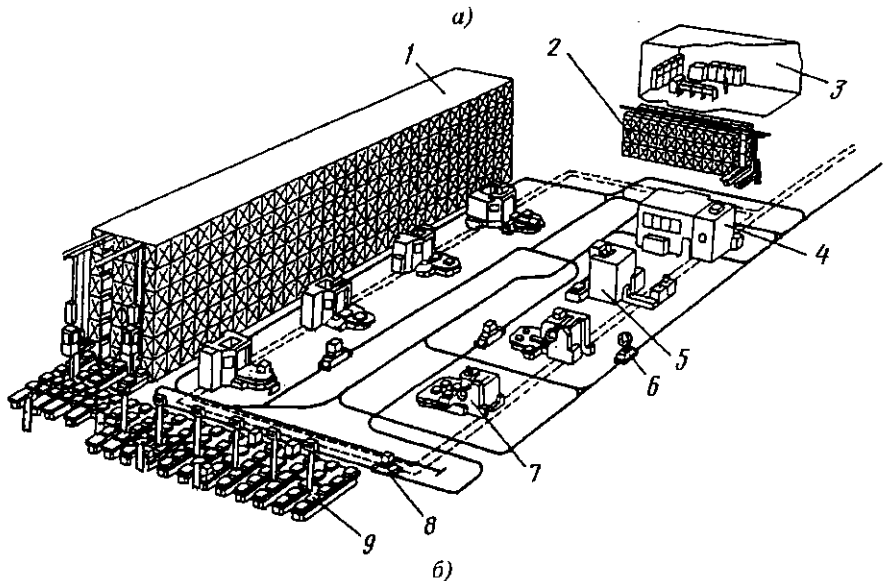
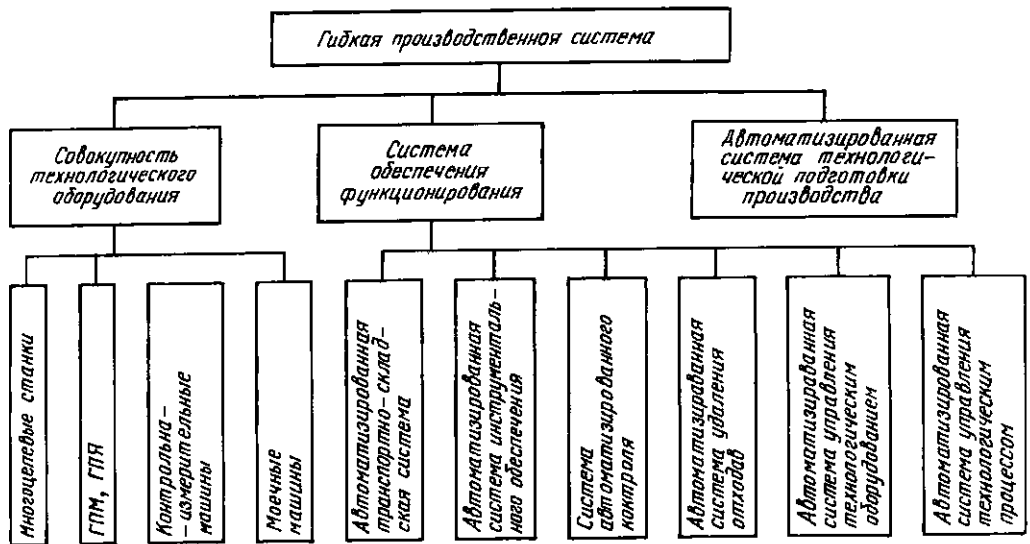


Рис. 16. Классификация станочных систем



**Рис. 17. Гибкая производственная система:**

- a* — структурная схема; *б* — схема компоновки ГПС для изготовления корпусных деталей:  
 1 — автоматизированный склад заготовок и деталей; 2 — автоматизированный склад палет, приспособлений и режущих инструментов; 3 — пульт управления; 4 — автоматизированная моечная машина; 5 — измерительная машина; 6 — роботар для транспортирования инструментальных магазинов; 7 — многоцелевые станки (6 штук); 8 — роботар для транспортирования палет с заготовками и деталями; 9 — станции для установки — снятия приспособлений и заготовок (деталей)

ГАУ — это участок цеха, технологическое оборудование которого состоит преимущественно из ГПМ, ГПЯ и ГПС. ГАЦ — это цех завода, состоящий преимущественно из ГАУ. ГАЗ — это интегрированное средствами вычис-

лительной техники производство, состоящее преимущественно из ГПС для выпуска продукции в условиях ее совершенствования и изменяющейся потребности.

## НАЛАДКА СТАНКОВ С ЧПУ

В соответствии с ГОСТ 3.1109–82 (в ред. 1985 г.) под *наладкой* понимается подготовка технологического оборудования и технологической оснастки к выполнению технологической операции. Проводится также *подналадка*, под которой понимается дополнительная регулировка технологического оборудования и (или) технологической оснастки при выполнении технологической операции для восстановления достигнутых при наладке значений параметров.

Наладка станка с ЧПУ включает в себя подготовку режущего инструмента и технологической оснастки, размещение рабочих органов станка в исходном для работы положении, прочику обработку первой детали, внесение корректив в положение инструмента и режим обработки, исправление погрешностей и недочетов в УП.

*Базирование и закрепление заготовок, наладка приспособлений.* При определении схемы базирования заготовки на столе станка необходимо знать конструктивные особенности стола, в частности его элементов, обеспечивающих базирование приспособления или заготовки.

Возможны различные схемы установки заготовок на столе станка с ЧПУ: непосредственно на столе станка; в приспособлении, которое установлено на столе станка; в приспособлении, установленном на координатной плите, которая является промежуточным элементом между приспособлением и столом станка; непосредственно на координатной плите.

При отсутствии у приспособления элементов ориентации на столе станка или при необходимости более точной установки приспособления относительно базовой точки стола станка применяется способ выверки приспособлений по оси шпинделя. Это может производиться путем применения: мерной оправки и мерных плиток; мерной оправки совместно с блоком плоскопараллельных концевых мер, а также с набором щупов, калибрами, шаблонами; использованием оптических и индикаторных центроискателей [1].

*Наладка и установка режущих инструментов.* Процесс использования режущих инструментов на станках с ЧПУ включает четыре основных этапа (рис. 18):

а) комплектацию и сборку режущих инструментов, взятых на складе, путем их установки в хвостовики и державки; их последую-

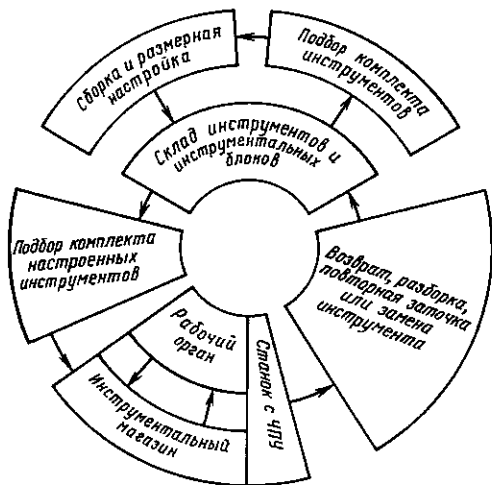


Рис. 18. Схема использования режущих инструментов на станках с ЧПУ

щую размерную настройку на специальных приборах в рамках разработанных унифицированных инструментальных систем (соответственно для токарных и многоцелевых станков); складирование собранных и настроенных инструментальных блоков;

б) подборку необходимого комплекта собранного и настроенного инструмента на складе, его установку в инструментальный магазин на станке;

в) последовательный выбор в процессе обработки заготовки нужного инструмента, его автоматическую смену с установкой и закреплением на рабочем органе станка; раскрепление, сьем и возврат инструмента в магазин;

г) возврат инструмента после обработки партии заготовок на склад, а при необходимости его разборку для повторной заточки или замены.

В общем виде система автоматической смены режущего инструмента на станке с ЧПУ включает в себя: инструментальный магазин для накопления инструментов (на токарных станках с ЧПУ одну, две или три револьверные головки); устройства выбора в инструментальном магазине или револьверной головке нужного инструмента; автооператор для смены инструмента (в некоторых случаях он отсутствует); механизма зажима хвостовика или резцедержавки с инструментом на рабочем органе станка (рис. 19).

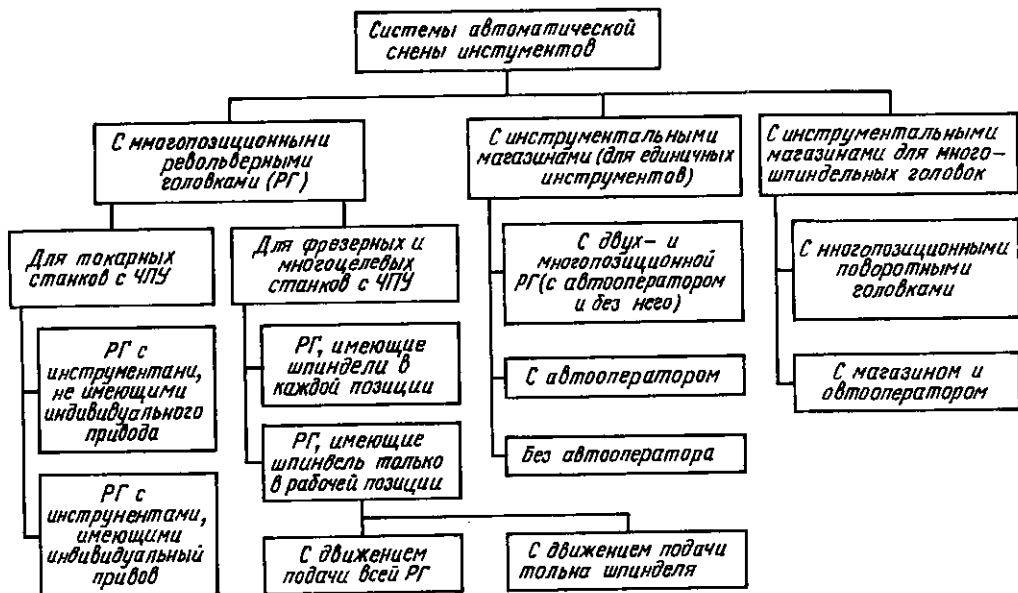


Рис. 19. Классификация систем автоматической смены инструментов

Режущий инструмент для станков с ЧПУ должен иметь высокую стойкость, возможность предварительной настройки на размер вне станка (совместно с применяемым вспомогательным инструментом); быстросменимость при переизладке на изготовление другой детали или замене затупившегося инструмента; высокую точность повторения положения режущих кромок инструмента относительно установочных баз; универсальность применения при обработке типовых обрабатываемых поверхностей деталей на разных моделях станков; технологичность в изготовлении и относительную простоту конструкции.

На станках с ЧПУ в настоящее время применяют в основном режущие инструменты с механическим креплением многогранных твердосплавных режущих пластинок, а также из керамики и сверхтвердых материалов.

Система *вспомогательного инструмента* для фрезерных и многоцелевых станков подробно рассмотрена в работах [1, 4, 5]. На многоцелевых станках также применяются оправки, позволяющие подавать СОЖ к режущим кромкам сверла, многошпиндельные оправки для одновременного сверления нескольких отверстий, оправки с высокоскоростным шпинделем.

Режущие инструменты закрепляются в шпинделе или на суппорте станка с помощью

разнообразных вспомогательных инструментов: оправок, втулок, патронов, державок, блоков. Разработаны комплекты унифицированного вспомогательного инструмента, которые образуют инструментальные системы для соответствующих групп станков с ЧПУ [1, 4, 5].

К вспомогательному инструменту предъявляют следующие требования:

- его номенклатура и стоимость должны быть экономически целесообразными;
- при установке и креплении режущего инструмента должны обеспечиваться требуемые точность, жесткость и виброустойчивость с учетом интенсивных режимов работы;
- должна быть предусмотрена возможность (в необходимых случаях) регулирования положения режущего инструмента;
- обслуживание должно быть удобным (при необходимости - быстросменность);
- изготовление и конструкция должны быть простыми;
- масса вспомогательного инструмента не должна превышать определенную величину для исключения трудностей при смене режущего инструмента;
- посадочные места оправок (хвостовики) и резцедержавок следует выполнять с высокой точностью для обеспечения идентичности их положения при установке и креплении в

одиом и том же шпинделе или на одиом и том же суппорте станка, а также на приборе иастройкн режущих инструментов.

Для закрепления режущих инструментов в шпинделе фрезерных и многоцелевых станков применяются хвостовники, размеры которых регламентированы ГОСТ 25827-93.

Данный стандарт распространяется на хвостовики инструментов с конусом 7:24 для ручной и автоматической смены инструментов.

В соответствии с данным стандартом хвостовики инструментов должны изготавливаться следующих исполнений и размеров: 1-ое исполнение – для ручной смены инструментов с конусами от 30 до 80; 2 и 3 – исполнения для автоматической смены инструментов с конусами от 30 до 50 (табл. 13).

Инструменты с хвостовиком исполнения 3 предназначены для оборудования, спроектированного до 01.01.94 г.

Размеры и форма центрального отверстия хвостовиков должны соответствовать указанному в табл. 14.

Неуказанные предельные отклонения размеров хвостовиков H14, h14, степень точности конусов AT4, AT5, допуски угла и формы конуса – по ГОСТ 19860. Отклонение угла конуса от номинального располагать в "плюс". Поверхностная твердость конической части хвостовиков 51...57 HRC.

Для токарных станков с ЧПУ разработаны две подсистемы вспомогательного инструмента: с цилиндрическим хвостовиком и базирующей призмой.

В первой подсистеме применяют резцедержавки, устанавливаемые и закрепляемые в револьверной головке с помощью цилиндрического хвостовика. Размеры цилиндрических хвостовиков резцедержавок определяет ГОСТ 24900-81.

Вспомогательный инструмент второй подсистемы с базирующей призмой включает резцедержавку с открытым и закрытым параллельными пазами для закрепления режущих инструментов с размерами сечения державок от 16 × 16 до 40 × 40 мм. Эта резцедержавка двусторонняя и может быть использована при любом положении револьверной головки станка и вращения шпинделя. Для предварительной иастройки инструмента вне станка предусмотрены регулировочные винты.

Размеры резцедержавок различных типов размеров приведены в работах [4, 5].

В связи со значительными трудностями смены державок с инструментом, установленным в револьверной головке токарного станка, в настоящее время применяют державки с быстросменными резцовыми головками (рис. 20).

При таком конструктивном исполнении, когда сами державки остаются в револьверной головке, а меняются только точно базируемые в них резцовые головки (при износе инструмента или при переходе на обработку других деталей), упрощаются смена и иастройка инструментов в револьверной головке, а также становится возможной замена резцовых головок автоматическн с помощью промышленного робота.

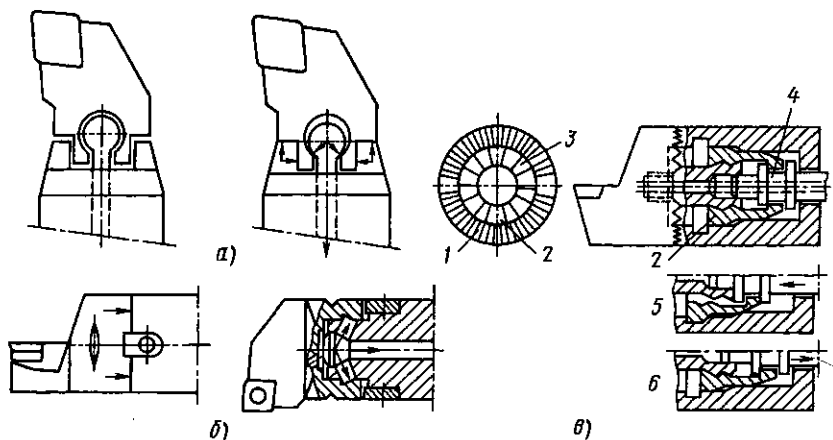
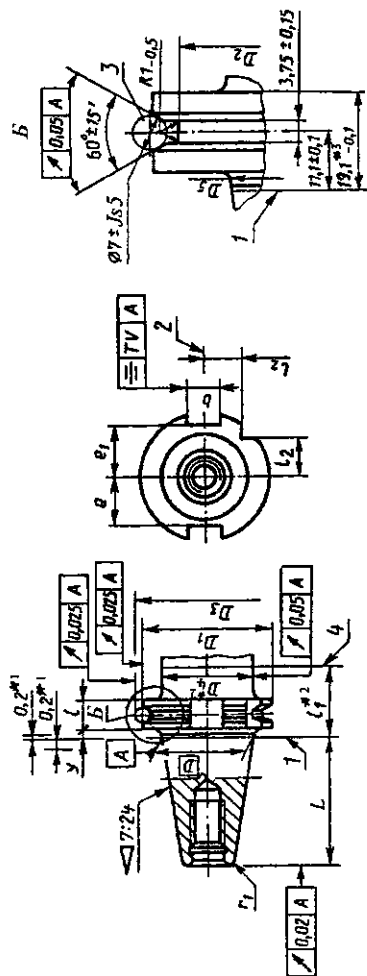


Рис. 20. Схемы закрепления быстросменных резцовых головок: а – фирмы Sandvik Coromant (Швеция); б – фирмы Krupp Widia (Германия); в – фирмы Hertel (Германия): 1 – торцовое зубчатое соединение "Хирт"; 2 – цапга; 3 – резина; 4 – тяга; 5 – положение разжима; б – положение зажима

13. Размеры, мм, хвостовков инструментов с конусом 7 : 24 (ГОСТ 25827-93)

Исполнение 2



*l* – основная плоскость; *2* – база отсчет для определения положения режущей кромки инструмента; *3* – измерительный ролик; *4* – зона крепления инструмента

- \*1 Предельное отклонение положения основной плоскости.
- \*2 Размеры определяют пространство для захвата инструмента.
- \*3 Размер для справок.

Обозначение конуса хвостовника инструмента	<i>D</i>	<i>D</i> <sub>1</sub>	<i>D</i> <sub>2</sub>	<i>D</i> <sub>3</sub>	<i>D</i> <sub>4</sub> , не более	<i>L</i>	<i>l</i>	<i>l</i> <sub>1</sub> , не менее	<i>b</i> <sub>2</sub>	<i>b</i>	<i>e</i>	<i>e</i> <sub>1</sub>	<i>y</i>	<i>r</i> <sub>1</sub>	<i>v</i>		
30	31,75	46,05	39,25	54,85	46,05	47,80	15,9	35	15,5	16,1	16,4	19,0	±0,1	-0,5	0,75	0,10	
40*	44,45	63,55	56,25	72,30	50,00	68,40			18,5	22,8	25,0	25,0			25,0	3,2	-0,5
45*	57,15	82,55	75,25	91,35	63,00	82,70			24,0	29,1	31,3	31,3	31,3	2,00	-0,5		
50*	69,85	97,50	91,25	107,25	80,00	101,75			30,0	35,5	37,7	37,7	37,7			2,50	-0,5

\* Размеры хвостовков, соответствующие ИСО 7388-1-83.

Пр и м е ч а н и я: 1. Величина диаметра цилиндрической части *D*<sub>3</sub> должна удовлетворять следующему соотношению: *D* ≤ *D*<sub>3</sub> ≤ *D*<sub>4,05</sub>.

2. По согласованию с потребителем допускается:

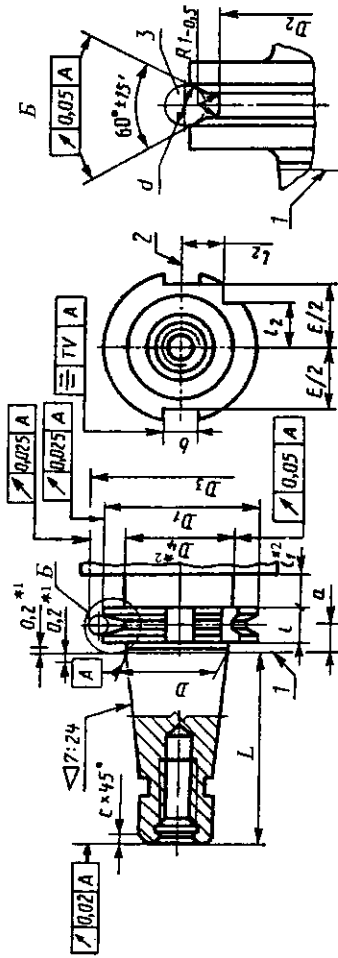
– между базовым диаметром и фланцем изготовить канавку для выхода шлифовального круга глубиной по ГОСТ 8820-69 (в ред. 1981 г.). Ширина канавки для конусов 30 и 40 – 1,6 мм, для конусов 45 и 50 – 3,0 мм;

– увеличение размера *l* при условии выполнения соотношения *y* + *l* ≤ *l*<sub>1</sub>, при этом пазы под шпонку ширинок *b* могут быть несвязанными с параллельными сторонами длиной не менее значения *l*<sub>1</sub>;

– изготовление паза с размером *b*<sub>2</sub>.



Исполнение 3



$l$  – основная плоскость; 2 – база отсчета для определения положения режущей кромки инструмента; 3 – измерительный ролик

\*1 Предельное отклонение положения основной плоскости.

\*2 Размеры определяют пространство для захвата инструмента.

Обозначение конуса хвостовика инструмента	D	D <sub>1</sub> ±0,15	D <sub>2</sub> -0,5	D <sub>3</sub> h8	D <sub>4</sub> , не более	d js5	L h11	l ±0,1	l <sub>1</sub> , не менее	l <sub>2</sub>	a ±0,1	b H12	v	c
30	31,75	50	46	55,07	44	4	68,4	8	8	15,5	5,6	16,1	16,2	0,2
40	44,45	63	58	69,34	55	5	93,4	10	10	18,5	6,6	19,3	22,5	0,12
45	57,15	80	74	87,61	68	6	106,8	12	13	24,0	9,2	25,7	29,0	0,4
50	69,85	100	94	107,61	85	6	126,8	12	16	30,0	9,2	25,7	35,3	0,6

Примечания: 1. Канавка для выхода шлифовального круга – по ГОСТ 8820–69 (в ред. 1981 г.).

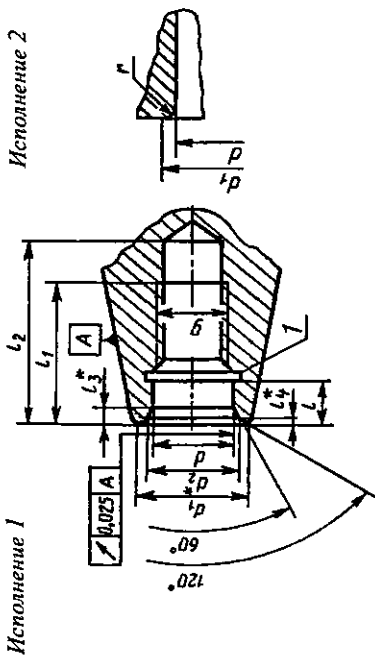
2. По согласованию с потребителем допускается.

– между базовым диаметром и фланцем изготовлять канавку для выхода шлифовального круга глубиной по ГОСТ 8820–69 (в ред. 1981 г.), ширина канавки для конусов 30 и 40 – 1,6 мм, для конусов 45 и 50 – 3,0 мм;

– увеличение размера  $l$  до значения, не превышающего:  $l + l_1$ , при этом пазы под шпонку шириной  $b$  могут изготовляться несковзными с параллельными сторонами длиной не менее значения  $l$ ;

– изготовление паза с размером  $l_1$ .

14. Размеры, мм, и форма центрального отверстия



\* Размеры для справок.

Обозначение конуса хвостовика инструмента	$d$ H7	$d_1$ , не более	$d_2$ , не более	$l$ +0,5	$l_1$ , не менее	$l_2$ , не менее	$l_3$	$l_4$	$g$ 6Н (7Н)	$r$
30	13	14,0	14,2	5,5	94	34	1,4	0,4	M12	0,8
40	17	19,0	18,5	8,2	32	43	1,9	0,6	M16	1,0
45	21	23,4	23,0	10,0	40	53	2,8	1,1	M20	1,2
50	25	28,0	27,0	11,5	47	62	3,7	1,1	M24	1,5
55		36,0							M30	
60	32	44,0	34,0	14,0	59	76	—	—	M36	2,0
65	38		—				—	—		
70	38 (50)	52,0	51,0	16,0	70	89	3,7	1,1		
75				20,0	92	115	—	—		
80	50	68,0	—	20,0	92	115	—	—		

П р и м е ч а н и я. 1. Размер, заключенный в скобках, для станков, спроектированных до 01.01.94.

2. Для станков с ручной сменной инструмента для размера  $d$  допускается применять поле допуска Н9, предельное отклонение размера  $l$  не регламентируется.

3. Канавка для выхода шлицовального круга (поз.  $l$ ) — по согласованию с потребителем.

Размерная настройка режущих инструментов может выполняться двумя способами: вне станка на специальных приборах и непосредственно на станке перед началом обработки с применением измерительных шупов.

Приборы для настройки режущих инструментов при их установке и закреплении в оправках и на державках подразделяют на две группы: бесконтактные и контактные. Первые оснащают оптическими средствами измерения (микроскопами, проекторами, компараторами), вторые – индикаторами. Это приборы БВ-2010, БВ-2013, БВ-2015, БВ-2026 и др. Большая гамма таких приборов выпускается за рубежом.

Описание устройства и принципа работы приборов указанных моделей приведено в работе [5].

Более точная настройка режущих инструментов проводится вторым способом – непосредственно на станке путем касания режущим инструментом специальных измеритель-

ных шупов, установленных на столе станка, на специальном выдвигном кронштейне, на шпиндельной бабке и др.

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПОДГОТОВКА УП ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

В табл. 15 и далее подробно рассмотрены этапы и задачи, решаемые при подготовке УП, дано их содержание и характеристика.

### ПОДГОТОВКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ НА СТАНКЕ С ЧПУ

Исходной документацией являются чертеж детали и чертеж заготовки. На данном этапе решается следующая последовательность задач (см. табл. 15).

#### 15. Основные этапы и задачи, решаемые при подготовке управляющих программ для обработки деталей на станках с ЧПУ

Наименование задач	Документация		Содержание решаемых задач
	справочная	сопроводительная	

#### Этап I. Подготовка исходных данных для проектирования технологического процесса обработки детали на станке с ЧПУ

Подбор номенклатуры обрабатываемых деталей	Классификаторы, каталоги	График перевода деталей на станки с ЧПУ	Определение целесообразности обработки детали на станке с ЧПУ – как по конструктивно-технологическим признакам, так и по производственным условиям; оценка возможности изменения заготовки, технологического процесса, конструкции детали
Выбор станка с ЧПУ	Технологические рекомендации, каталоги	Технические характеристики эксплуатируемых станков с ЧПУ	Определение соответствия возможностей станка (точности, мощности, жесткости, размеров рабочей зоны и др.) и системы ЧПУ требуемым техническим характеристикам детали
Проведение технико-экономического анализа обработки детали	Методические рекомендации	Типовые технологические процессы изготовления деталей на универсальных станках	Оптимизация вариантов технологических процессов обработки деталей на станках с ЧПУ: расчет суммарной технологической эффективности варианта и сроков окупаемости дополнительных капитальных затрат

Продолжение табл. 15

Наименование задач	Документация		Содержание решаемых задач
	справочная	сопроводительная	
Повышение технологичности детали	Стандарты ЕСТПП, классификаторы	Запрос на изменение конструкции	Отработка конструкции детали на технологичность и унификация (радиусов, баз, элементов детали). Повышение жесткости детали и режущего инструмента. Корректировка чертежей детали и заготовки
Согласование условий поставки заготовки	Стандарты ЕСТПП и др. классификаторы	Условия поставки заготовки; условия поставки детали; чертежи заготовки и детали	Определение технологического состояния заготовки, требования к базам, припуски, технологические отверстия. Определение технологического состояния детали после обработки на станке с ЧПУ: основные размеры, припуски, доводочные работы

### Этап II. Разработка маршрутной технологии обработки детали на станке с ЧПУ

Выбор последовательности обработки детали	Типовые и групповые технологические процессы	Сводная карта маршрута; операционные эскизы	Составление и согласование маршрута обработки детали: выделение поверхностей, обрабатываемых на станках с ЧПУ; определение зон обработки; выбор последовательности выполнения операций; составление операционного эскиза
Выбор режущих инструментов	Стандарты, каталоги типовой и групповой технологической оснастки	Технические условия на режущий инструмент	Эскизное проектирование режущего инструмента: определение типа инструмента; выбор технологических параметров; выбор конструкции; выбор геометрических параметров; проектирование схемы наладки
Выбор приспособлений	Стандарты, каталоги типовой и групповой технологической оснастки	Технические условия на приспособления	Эскизное проектирование приспособления: определение положения заготовки на станке; определение типа приспособления; определение схемы базирования заготовки; определение схемы закрепления заготовки; выбор вида привода

### Этап III. Разработка операционной технологии обработки детали на станке с ЧПУ

Составление плана операции	Стандарты ЕСТПП, ЕСТД	Операционная карта; операционный эскиз	Определение содержания операции. Разделение операции на установовы и позиции. Уточнение метода закрепления заготовки. Подготовка операционной карты
----------------------------	-----------------------	--	---

Окончание табл. 15

Наименование задач	Документация		Содержание решаемых задач
	справочная	сопроводительная	
Разработка операционной технологии	Нормативы режимов резания; типовые и групповые ТП; стандарты ЕСТПП; каталоги технологической оснастки	Карта наладки станка; карта наладки инструмента	Определение последовательности переходов. Выбор режущего инструмента. Разделение переходов на ходы. Выбор контрольных точек и точек останова. Определение траекторий позиционных и вспомогательных переходов. Расчет режимов резания. Увязка систем координат программируемой детали и станка с ЧПУ. Подготовка расчетно-технологической карты обработки детали

**Этап IV. Расчет траекторий перемещений режущих инструментов**

Расчет траекторий инструмента	Таблицы допусков и посадок; таблицы геометрических расчетов; типовые методики расчета	Расчетно-технологическая карта; эскиз траектории	Выбор (уточнение) системы координат. Определение наладочных размеров детали. Расчет координат опорных точек. Разделение переходов на ходы и шаги. Построение траектории движения режущего инструмента, Преобразование систем координат
-------------------------------	---	--	--

**Этап V. Кодирование управляющей программы и изготовление программноносителя**

Кодирование и запись управляющей программы	Инструкция по программированию УП; инструкция для записи УП	УП; распечатка УП	Формирование элементарных перемещений. Определение технологических команд. Пересчет величин перемещений в импульсы. Кодирование УП. Запись УП на программноноситель. Печатание текста УП
--	---	-------------------	--

**Этап VI. Контроль управляющей программы**

Контроль, редактирование и отладка управляющей программы	Методика контроля УП; методика редактирования УП	График траектории; акт внедрения УП	Контроль программноносителя. Контроль траектории инструмента. Редактирование управляющей программы. Обработка опытной детали
--	--	-------------------------------------	--

**Этап VII. Отладка управляющей программы на станке с ЧПУ. Пробная обработка деталей**

*Подбор номенклатуры обрабатываемых деталей.* Наличие целесообразной номенклатуры обрабатываемых деталей является одним из главных условий достижения высоких технико-экономических показателей при внедрении и эксплуатации станков с ЧПУ. При обработке данных деталей должны иметь место источники и факторы экономической эффективности, приведенные на рис. 21.

При этом предполагается, что наиболее эффективно используется и сам станок с ЧПУ, в частности его технологические возможности.

При подборе деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ, исходят из следующих нормативно-технических показателей:

- типа заготовки и ее материала;
- габаритных размеров и сложности конфигурации (наличие криволинейных поверхностей);

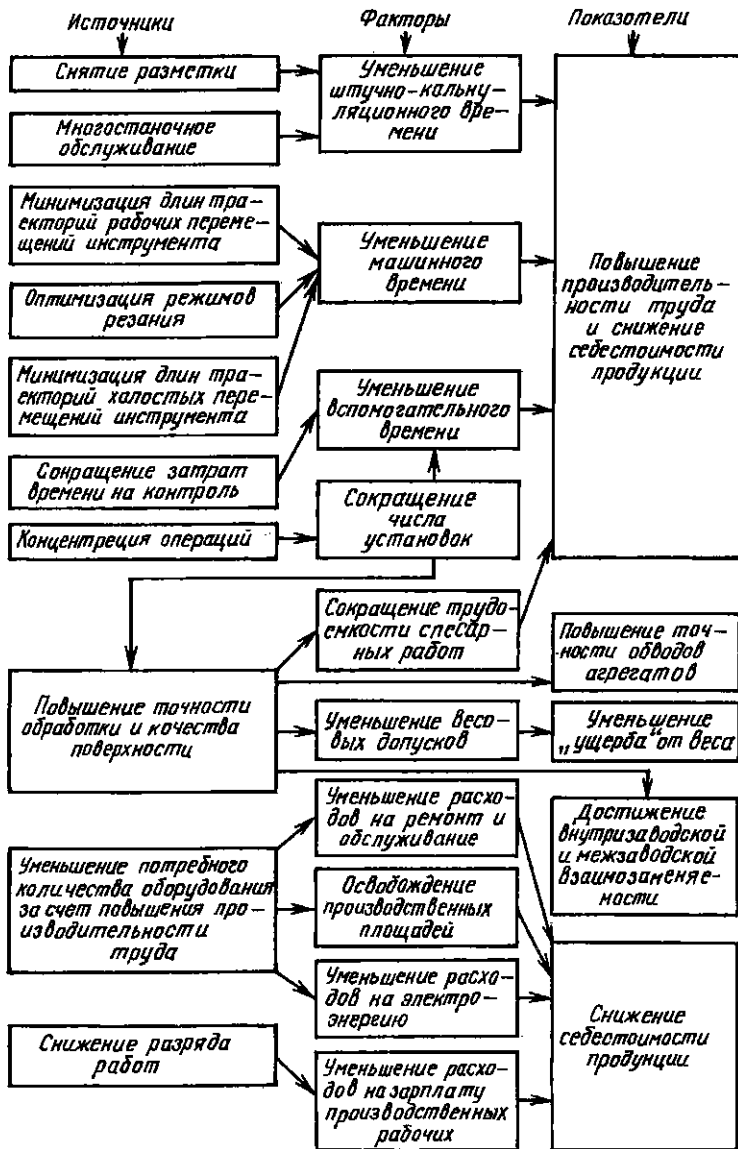


Рис. 21. Основные источники и факторы экономической эффективности перевода деталей для обработки на станках с ЧПУ

- типа и числа обрабатываемых элементов на заготовке (отверстия, плоскости, криволинейные поверхности);
- наличие резьб;
- способа крепления заготовки;
- требуемой точности заготовки;
- требуемой шероховатости обрабатываемых поверхностей;

- трудоемкости изготовления детали в целом;
- трудоемкости подготовки УП;
- годовой программы выпуска.

На рис. 22 показана укрупненная схема классификации деталей, которая может послужить основой при разработке классификаторов деталей, подлежащих обработке на станках с ЧПУ [9].

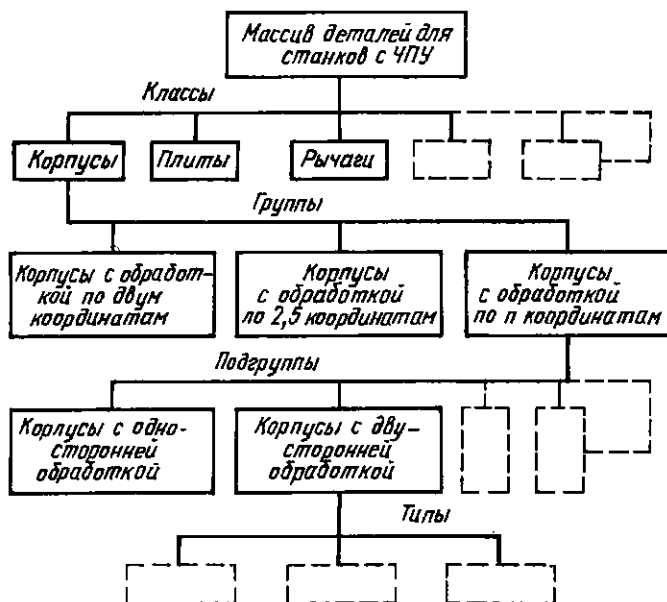


Рис. 22. Укрупненная схема классификации деталей, подлежащих обработке на станках с ЧПУ

Первый уровень – классы – по общности конструктивно-технологических признаков (корпусы, фланцы, балки, кронштейны и т.д.), которая заключается в аналогии геометрической формы и обрабатываемых элементов деталей, в сходстве построения плана обработки.

Второй уровень – частные объединения по сходным конструктивно-технологическим признакам. Одним из основных критериев объединения деталей в группу является количество координат, по которым должна проводиться обработка на станке с ЧПУ.

Признаками разделения групп на подгруппы являются схемы базирования и крепления, габариты, вид заготовки, схема траектории движения режущего инструмента и др.

Подгруппы, в свою очередь, разбиваются на типы, в которых детально уточняется общность технологического маршрута, режимы резания, модель станка.

На станках с ЧПУ рекомендуется обрабатывать:

- детали со сложной конфигурацией, контуры и элементы конструкции которых не параллельны координатным осям станка. Детали, имеющие криволинейные, в том числе глухие пазы и выборки. Объемные детали с по-

верхностями одинарной и двойной кривизны;

- наиболее выгодной является обработка деталей типа панелей, балок, рам, шпангоутов, имеющих несколько криволинейных контуров, подсечек, карманов, колодцев, лежащих на одном или различных уровнях;

- сравнительно простые детали, входящие в кинематические цепи и стыкующиеся с деталями, подлежащими обработке на станках с ЧПУ, так как при этом происходит ликвидация пригоночных работ при сборке и взаимодействии деталей;

- во многих случаях экономически выгодно, несмотря на относительную простоту, обработка деталей типа фитингов, изготавливаемых из профиля, или деталей, идущих сравнительно большой серией.

#### Выбор станка с ЧПУ

На этапе подготовки исходных данных необходимо знать технологические возможности станков с ЧПУ для проведения обработки выбранной номенклатуры деталей.

Выбор конкретного станка производится в соответствии с его техническими характеристиками при соблюдении следующих условий:

- соответствия системы ЧПУ и количества управляемых координат станка, необходимых для обработки;
- соответствия размеров рабочей зоны станка габаритным размерам детали;
- соответствия мощности, жесткости и кинематических возможностей станка лучшим режимам обработки деталей;
- соответствия точности и требуемой шероховатости поверхности, обеспечиваемой станком.

Для определения количества управляемых координат станка, необходимых для обработки, проводится формализованное описание

выбранной детали [13]. С этой целью необходимо следующее:

1. Определить по чертежу зоны детали, связанные с ее конструктивными особенностями и подлежащие обработке.

2. Расчленить зоны детали на линейчатые поверхности с нанесением опорных точек по линиям сопряжения поверхностей.

3. Сгруппировать обозначенные линейчатые поверхности по четырем группам согласно табл. 16. Данная таблица представляет четыре типовых процесса формирования различных линейчатых поверхностей с указанием количества необходимых для обработки управляемых координат станка.

**16. Типовые процессы обработки поверхностей фрезерованием**

№ под группы	Описание направляющей	Описание поверхности с образующей, параллельной координатной плоскости XOY	Эскиз поверхности	Количество, состав и зависимость движений
--------------	-----------------------	--	-------------------	---

*Типовой процесс торцового фрезерования плоскостей, параллельных координатной плоскости*

1	Прямая, параллельная оси координат OX	Плоскость, параллельная координатной плоскости XOY (горизонтальная плоскость)		$\bar{X}$
	Прямая, параллельная оси координат OY	Плоскость, параллельная координатной плоскости XOY (горизонтальная плоскость)		$\bar{Y}$
	Окружность (дуга окружности) в плоскости, параллельной координатной плоскости XOY	Плоскость, параллельная координатной плоскости XOY (горизонтальная плоскость)		$\dot{Z}$
2	Прямая в плоскости, параллельной координатной плоскости XOY	Плоскость, параллельная координатной плоскости XOY (горизонтальная плоскость)		$\bar{X} - \bar{Y}$



Продолжение табл. 16

№ под группы	Описание направляющей	Описание поверхности с образующей, параллельной координатной плоскости $XOY$	Эскиз поверхности	Количество, состав и зависимость движений
2	Архимедова спираль в координатной плоскости $XOY$	Плоскость, параллельная координатной плоскости $XOY$ (горизонтальная плоскость)		$\dot{Z} - \bar{X}$ или $\dot{Z} - \bar{Y}$
3	Кривая в плоскости, параллельной координатной плоскости $XOY$	Плоскость, параллельная координатной плоскости $XOY$ (горизонтальная плоскость)		$\bar{X} \sim \bar{Y}$
	Кривая в плоскости, параллельной координатной плоскости $XOY$	Плоскость, параллельная координатной плоскости $XOY$ (горизонтальная плоскость)		$\dot{Z} \sim \bar{X}$ или $\dot{Z} \sim \bar{Y}$

*Типовой процесс цилиндрического фрезерования плоскостей, параллельных координатным плоскостям  $XOZ$ ,  $YOZ$ , и прямых круговых цилиндрических поверхностей с осью вращения, параллельной оси координат  $OY$*

1	Прямая, параллельная оси координат $OX$	Плоскость, параллельная координатной плоскости $XOZ$ (вертикальная плоскость)		$\bar{X}$
	Прямая, параллельная оси координат $OY$	Плоскость, параллельная координатной плоскости $YOZ$ (вертикальная плоскость)		$\bar{Y}$
	Окружность, дуга окружности, параллельной координатной плоскости $XOY$	Прямая круговая цилиндрическая поверхность		$\dot{Z}$

Продолжение табл. 16

№ под- груп- пы	Описание направляющей	Описание поверхности с образующей, параллельной координатной плоскости $XOY$	Эскиз поверхности	Количество, состав и зависимость движений
	Прямая в плоско- сти, параллельной координатной плоскости $XOZ$	Плоскость, параллельная координатной плоскости $XOZ$ (вертикальная плоскость)		$\bar{X} - \bar{Z}$
2	Прямая в плоско- сти, параллельной координатной плоскости $YOZ$	Плоскость, параллельная координатной плоскости $YOZ$ (вертикальная плоскость)		$\bar{Y} - \bar{Z}$
	Винтовая линия на прямой круговой цилиндрической поверхности	Прямая круговая цилиндри- ческая поверхность		$\dot{z} - \bar{Z}$
	Кривая в плоско- сти параллельной координатной плоскости $XOZ$	Плоскость, параллельная координатной плоскости $XOZ$ (вертикальная плоскость)		$\bar{X} \sim \bar{Z}$
3	Кривая в плоско- сти, параллельной координатной плоскости $YOZ$	Плоскость, параллельная координатной плоскости $YOZ$ (вертикальная плоскость)		$\bar{Y} \sim \bar{Z}$
	Кривая на прямой круговой цилиндри- ческой поверх- ности	Прямая круговая цилиндри- ческая поверхность		$\dot{z} \sim \bar{Z}$

Продолжение табл. 16

№ под- груп- пы	Описание направляющей	Описание поверхности с образующей, параллельной координатной плоскости XOY	Эскиз поверхности	Количество, состав и зависимость движений
-----------------------	--------------------------	--	-------------------	--

*Типовой процесс цилиндрического фрезерования плоскостей,  
перпендикулярных координатной плоскости XOY, и цилиндрических поверхностей  
с направляющей "архимедова спираль"*

1	Прямая в плоско- сти, параллельной координатной плоскости XOY	Плоскость, перпендикулярная координатной плоскости XOY		$\bar{X} - \bar{Y}$
	Архимедова спи- раль в плоскости, параллельной координатной плоскости XOY	Архимедова цилиндрическая поверхность		$\dot{Z} - \bar{X}$ или $\dot{Z} - \bar{Y}$
	Прямая в плоско- сти, перпенди- кулярной координат- ной плоскости XOY	Плоскость, перпендикулярная координатной плоскости XOY		$\bar{X} - \bar{Y} - \bar{Z}$
2	Винтовая на архи- медовой цилиндрической поверх- ности (проекция цилиндрической винтовой линии на архимедову цилиндрической поверхности)	Архимедова цилиндрическая поверхность		$\dot{Z} - \bar{X} - \bar{Z}$ или $\dot{Z} - \bar{Y} - \bar{Z}$
3	Кривая линия в плоскости, пер- пендикулярной координатной плоскости XOY	Плоскость, перпендикулярная координатной плоскости XOY		$\bar{X} - \bar{Y} - \bar{Z}$

Продолжение табл. 16

№ под- груп- пы	Описание направляющей	Описание поверхности с образующей, параллельной координатной плоскости XOY	Эскиз поверхности	Количество, состав и зависимость движений
3	Кривая архимедовой цилиндрической поверхности	Архимедова цилиндрическая поверхность		$\bar{X} - \dot{Z} \sim \bar{Z}$ или $\bar{Y} - \bar{Z} \sim \bar{Z}$

Типовой процесс цилиндрического фрезерования цилиндрических поверхностей

1	Кривая в плоскости, параллельной координатной плоскости XOY	Прямая цилиндрическая поверхность		$\bar{X} \sim \bar{Y}$
	Кривая в плоскости, параллельной координатной плоскости XOY	Прямая цилиндрическая поверхность		$\dot{Z} \sim \bar{X}$ или $\dot{Z} \sim \bar{Y}$
	Кривая в наклонной плоскости к координатной плоскости XOZ	Прямая цилиндрическая поверхность		$\bar{Y} - \bar{Z} \sim \bar{X}$
2	Кривая в наклонной плоскости к координатной плоскости YOZ	Прямая цилиндрическая поверхность		$\bar{X} - \bar{Z} \sim \bar{Y}$
	Винтовая с постоянным шагом на цилиндрической поверхности	Прямая цилиндрическая поверхность		$\bar{Z} - \dot{Z} \sim \bar{X}$ или $\bar{Z} - \dot{Z} \sim \bar{Y}$

Окончание табл. 16

№ подгруппы	Описание направляющей	Описание поверхности с образующей, параллельной координатной плоскости XOY	Эскиз поверхности	Количество, состав и зависимость движений
3	Кривая линия в пространстве	Прямая цилиндрическая поверхность		$\bar{X} \sim \bar{Y} \sim \bar{Z}$
	Кривая линия в пространстве	Прямая цилиндрическая поверхность		$\dot{Z} \sim \bar{X} \sim \bar{Z}$ или $\dot{Z} \sim \bar{Y} \sim \bar{Z}$

Например, обработка горизонтальной плоскости (1-й типовой процесс) может проводиться движением по управляемой линейной координате  $\bar{X}$  или  $\bar{Y}$ , круговой  $\dot{Z}$ , участием двух независимых движений по координатам  $\bar{X} - \bar{Y}$  или двух нелинейно зависимых движений  $\sim \bar{X} \sim \bar{Y}$  и т.д., что характеризует возможности ЧПУ и непосредственно станка.

На рис. 23 приведен пример формализованного описания обрабатываемой детали с нанесенными опорными точками. Количество линейчатых поверхностей данной детали, получаемых типовыми процессами фрезерования I, II, III и IV групп, представлено в табл. 17.

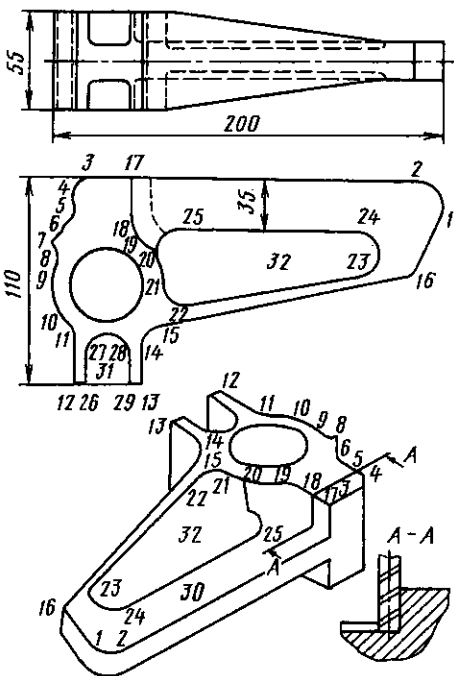


Рис. 23. Формализованное описание детали при выборе станка с ЧПУ

*Проведение технико-экономического анализа обработки детали на станке с ЧПУ*

Оптимизация вариантов технологического процесса обработки детали на станке с ЧПУ может осуществляться по критериям: по суммарной технологической эффективности варианта обработки (по сравнению с другими вариантами) и по сроку окупаемости дополнительных капитальных затрат.

**17. Количество линейчатых поверхностей деталей (рис. 23),  
получаемых типовыми процессами фрезерования**

№	Типовые процессы получения групп поверхностей	I	II	III	IV	Всего
1	Перечень поверхностей зон детали, обрабатываемых на фрезерном станке с ЧПУ	30 = 2 шт. 31 = 2 шт. 32 = 2 шт.	2 - 3 = 1 шт. 4 - 5 = 1 шт. 11 - 12 = 1 шт. 12 - 13 = 1 шт. 13 - 14 = 1 шт. 17 - 18 = 2 шт. 24 - 25 = 2 шт. 26 - 27 = 2 шт. 28 - 29 = 2 шт.	6 - 7 = 1 шт. 7 - 8 = 1 шт. 15 - 16 = 1 шт. 16 - 17 = 1 шт. 22 - 23 = 2 шт.	1 - 2 = 1 шт. 3 - 4 = 1 шт. 5 - 6 = 1 шт. 8 - 9 = 1 шт. 9 - 10 = 1 шт. 10 - 11 = 1 шт. 14 - 15 = 1 шт. 18 - 19 = 2 шт. 19 - 20 = 2 шт. 20 - 21 = 2 шт. 21 - 22 = 2 шт. 23 - 24 = 2 шт. 25 - 26 = 2 шт. 27 - 28 = 2 шт.	
2	Общее количество поверхностей	6	13	6	21	46

Определение оптимального варианта технологического процесса проводится согласно общей схемы (рис. 24), по следующим основным этапам:

- получение исходных данных;
- определение на основании чертежа параметров формализованного описания детали;
- выбор моделей станков с ЧПУ;
- расчет предварительных и окончательных технико-экономических параметров вариантов технологического процесса;
- расчет показателей суммарной технико-экономической эффективности и сроков окупаемости дополнительных капитальных затрат;
- утверждение варианта технологического процесса.

Исходными данными являются: годовая программа выпуска детали, рекомендуемые условия эксплуатации станков (балансовая стоимость станка, срок амортизации, стоимость всех видов его ремонта, обслуживания, уровень автоматизации подготовки УП и др.).

По результатам проведенного формализованного описания обрабатываемой детали с выделением четырех групп линейчатых поверхностей и последующего выбора на его

основе модели станка с ЧПУ, проводится расчет технико-экономической эффективности обработки детали на станке с ЧПУ.

Технико-экономическая эффективность обработки определяется как разность себестоимостей обработки на универсальном станке и станке с ЧПУ с учетом годовой программы выпуска деталей. При определении разности себестоимостей обработки исходят из технико-экономических показателей: стоимость разработки УП для обрабатываемых на станке с ЧПУ зон детали; затраты времени на обработку зон детали; изменение стоимости часа работы станка; изменение заработной платы производственных рабочих и стоимости оснащения при переходе от универсальных станков к станкам с ЧПУ [13].

Расчет стоимости разработки УП для зон детали, подлежащих обработке на станках с ЧПУ, проводится на основании параметров формализованного описания детали, где учитывается количество симметричных, повторяющихся и несимметричных линейчатых поверхностей  $i$ -го типа, их удельная стоимость программирования, а также вид обрабатываемого материала через соответствующие коэффициенты.

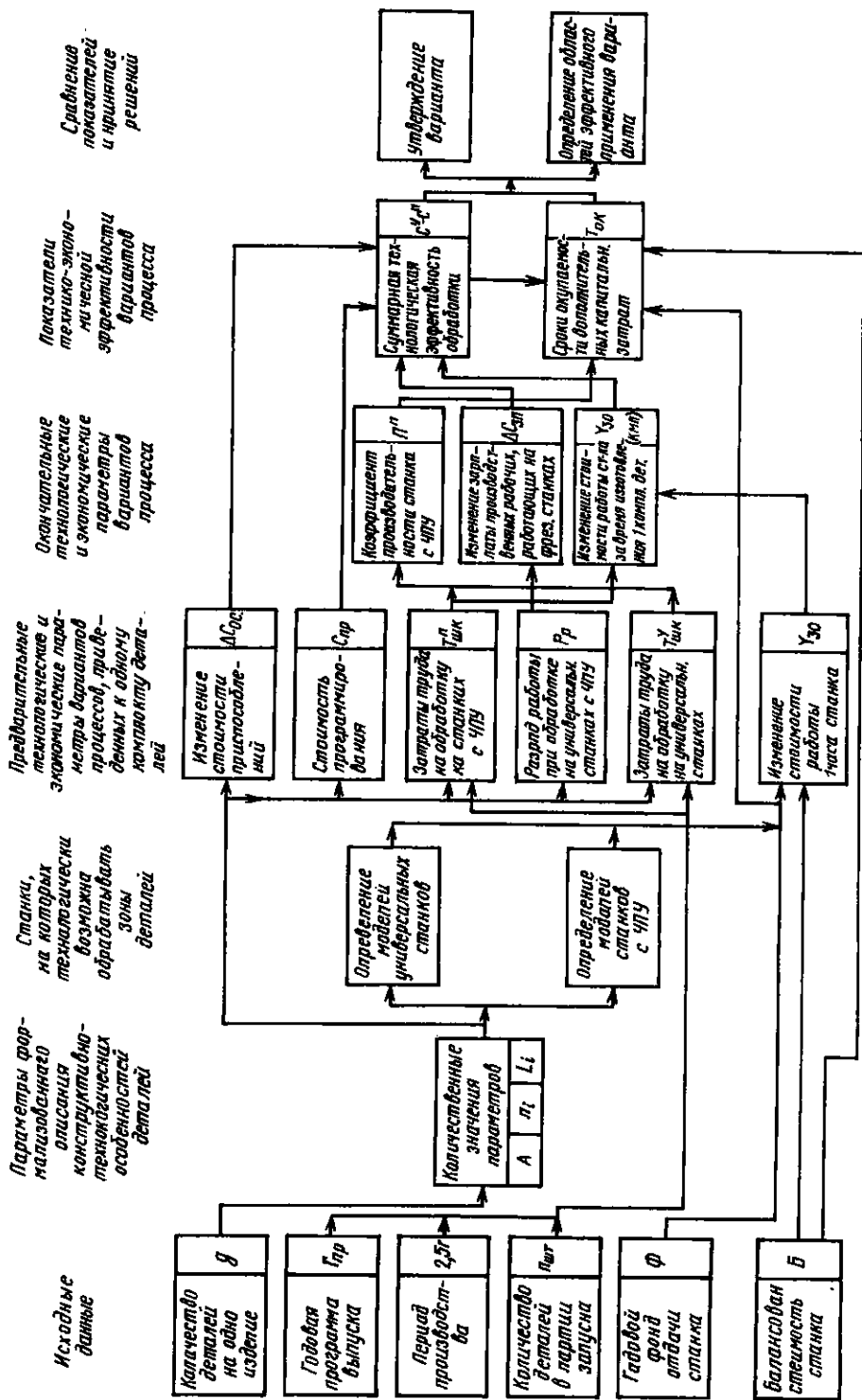


Рис. 24. Общая схема определения оптимального варианта технологического процесса

Затраты времени при обработке на станке с ЧПУ  $n$ -го количества линейчатых поверхностей детали  $i$ -го типа рассчитываются исходя из их условной длины, максимальной скорости подачи рабочих органов станка с ЧПУ, количества управляющих программ, необходимых для обработки этих поверхностей, скорости их воспроизведения. При этом учитывают коэффициент, характеризующий отношение условных длин линейчатых поверхностей детали к длине рабочего пути инструмента.

Изменение стоимости часа работы станка, с учетом его производительности, при переходе от универсальных станков к станкам с ЧПУ определяется как разность стоимости одного часа работы универсального станка и станка с ЧПУ. Для проведения расчетов используют технико-экономические показатели станков: балансовая стоимость и годовой фонд использования станков; расходы на все виды их текущего обслуживания в год, исходя из ремонтной сложности станков; производительность и сроки амортизации станков. Необходимые значения определяются паспортными данными станков и берутся по фактическим данным предприятия.

Изменение заработной платы производственных рабочих при переходе от универсальных станков к станкам с ЧПУ определяется как разность заработной платы производственных рабочих при обработке детали на универсальном станке и станке с ЧПУ с учетом тарифных ставок и разрядов работ, устанавливаемых предприятием.

Изменение стоимости оснащения при переводе обработки детали на станки с ЧПУ учитывает стоимость технологической оснастки, применяемой на универсальных станках и станках с ЧПУ.

Подробная методика проведения технико-экономического анализа приведена в работе [13].

#### *Повышение технологичности деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ*

Опыт эксплуатации станков позволяет сформулировать основные требования к конструкции деталей, обеспечивающих высокую технологичность при обработке их на станках с ЧПУ. Эти требования должны быть либо учтены конструкторами на этапе создания чертежа изделий, либо могут быть согласованы при проектировании технологического процесса обработки.

Выполнение требований к повышению технологичности имеют цель:

- сокращение типоразмеров применяемого режущего инструмента (сокращение количества операций);
- применение более производительного (экономически выгодного) инструмента;
- применение стандартного инструмента взамен специального;
- уменьшение количества переустановок детали и уменьшение количества и стоимости потребной оснастки;
- повышение точности базирования, понижение степени коробления детали при обработке;
- повышение точности и производительности обработки;
- снижение объема последующей слесарной (станочной) ручной доработки;
- сокращение затрат на расчет и подготовку УП.

Общие требования к технологичности деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ, как правило, могут быть выполнены путем изменения геометрической формы или отдельных элементов детали, изменения некоторых размеров, смещения отдельных элементов и т.п. Примеры нетехнологичных и технологичных конструктивных решений деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ, приведены в табл. 18.

#### *Согласование условий поставки заготовки*

Важнейшим при подготовке исходных данных для проектирования технологического процесса является согласование условий поставки заготовки или условий поставки детали. Целью этапа является определение состояния заготовки, ее базы, все виды предварительной обработки перед установкой заготовки на станке с ЧПУ. Определяются также состояние детали после снятия ее со станка и объем требуемой слесарной доработки.

Основным содержанием технических условий на поставку заготовки является требование к базовым поверхностям. На рис. 25 приведены примеры заготовок с базовыми поверхностями, подготовленными для обработки на станках с ЧПУ. Подготовка чистых баз деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ, в ряде случаев выполняется на универсальных станках. Для токарной обработки это подрезка торцов и цеитрование деталей (рис. 25, в), проточка базовых шеек (рис. 25, а), для фрезерования и других



Требования	Нетехнологичное	Пример конструктивного решения детали	Технологичное
<p>1. Минимальная разновидность геометрических элементов, образующих наружные и внутренние контуры деталей</p>	<p>Станки токарной группы</p>		
<p>2. Рациональная геометрическая форма детали, обеспечивающая возможность осуществления минимального числа чистовых проходов, обработку одним инструментом (это исключает появление ризок и углубов на обрабатываемой поверхности), а также удобства при базировании и креплении заготовки</p>			
<p>3. Задание отдельных участков образующей уравнениями, а не координатным способом</p>			
<p>4. Некоторое снижение требований по шероховатости обрабатываемой поверхности у оси вращения</p>			

Требования	Пример конструктивного решения детали
Технологичное	Технологичнос

Станки фрезерной группы

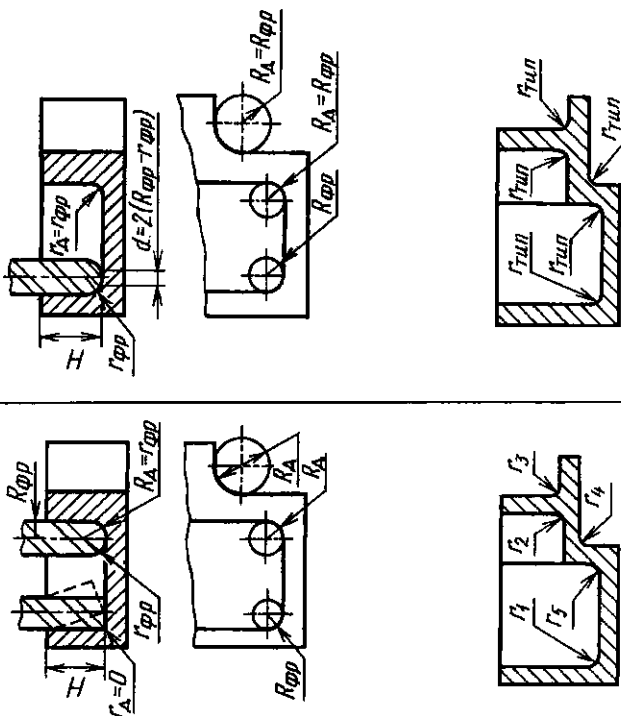
1. Сопряжения стенок наружных и внутренних обрабатываемых контуров детали по возможности следует выполнять одинаковыми (типowymi для данного контура) радиусами

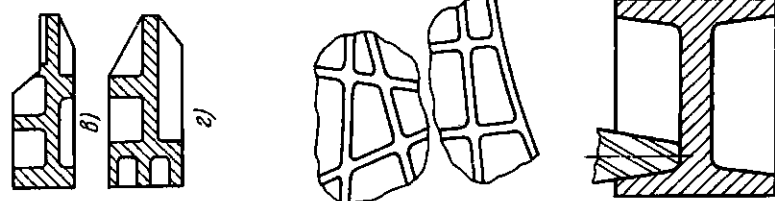
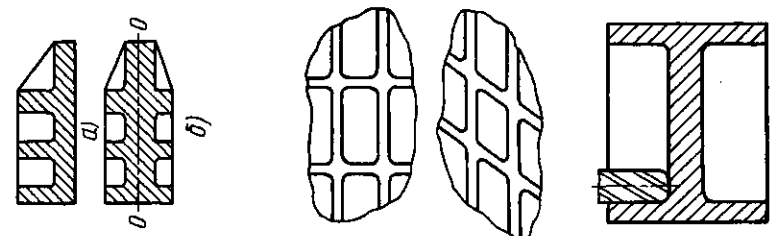
$$R_d = R_{фр} (1/4 \dots 1/6)H; r_d = r_{фр},$$

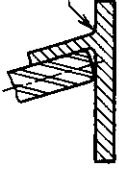
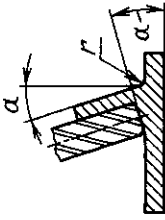
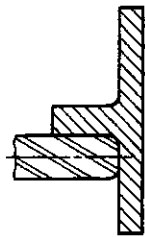
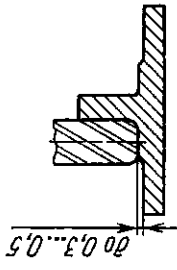
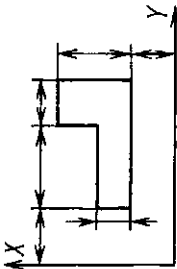
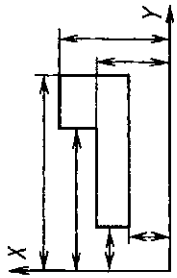
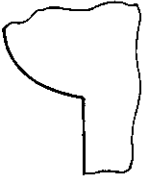
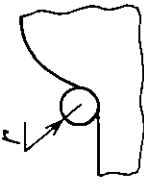
где  $H$  — наибольшая высота стенок обрабатываемого контура. Выполнение этого требования ведет к сокращению типоразмеров режущего инструмента при обеспечении его жесткости и высокой производительности обработки. При обработке деталей из легких сплавов  $R_{фр} \geq H/6$ , из труднообрабатываемых материалов —  $R_{фр} \geq H/4$ .

При назначении радиусов сопряжения для детали ( $R_d$  и  $r_d$ ) необходимо выдерживать такое соотношение между ними и радиусами фрезы  $R_{фр}$  и  $r_{фр}$ , которое обеспечивало бы наличие на торце инструмента (концевой фрезы) плоского участка с диаметром  $d = 2(R_{фр} - r_{фр})$ , что необходимо для качественной обработки участков поверхности детали, ограниченных контуром или прилегающих к нему. Следует избегать соотношения  $R_d = r_d = R_{фр} = r_{фр}$ , при котором требуется применять концевые сферические фрезы.

2. Сопряжение стенок с полками и подсечками одинаковыми для данного контура радиусами  $r_{тип}$ , что исключит необходимость обработки различными инструментами и возможность появления следов зарезания



Требования	Пример конструктивного решения детали	Технологическое
	Нетехнологическое	Технологическое
<p>3. Обеспечение конструкцией детали обработки с наименьшим числом установов на станке. Наиболее технологична односторонняя конструкция с базовой плоскостью (а); в этом случае при выполнении условий унификации радиусов деталь может быть полностью обработана одним инструментом на одном приспособлении при одном установе на базовую плоскость. Следующей по степени технологичности является двухсторонняя симметричная конструкция детали (б); вследствие симметричности относительно оси <i>ОО</i> деталь обрабатывается с двух сторон по одной и той же программе одним инструментом. Менее технологичными являются двусторонняя асимметричная (в) и многосторонняя (г) конструкции деталей</p> <p>4. Упрощение геометрических форм и типизация основных повторяющихся геометрических элементов детали, например карманов, колодцев (см. рисунок), панелей, рам, балок и т.п. Это сокращает затраты на программирование. При конструировании деталей следует максимально использовать зеркально отображенные и симметричные элементы</p> <p>5. Следует по возможности избегать наклонных (так называемых малоконных) стоек, а также имитации штамповочных уклонов</p>		

Требования	Пример конструктивного решения детали	Технологическое
	Нетехнологическое	Технологическое
<p>6. Конфигурация детали должна обеспечивать свободный доступ к поверхностям для обработки их одним инструментом при минимальном числе рабочих ходов</p>		
<p>7. В местах сопряжения обрабатываемой стенки с дном предусматривать завышения 0,3...0,5 мм. Это уменьшает объем обработки и предотвращает "зарезы"</p>		
<p>8. Простановка размеров от одной базы</p>		
<p>9. Обеспечение сопряжений линий контура плавным радиусом</p>		

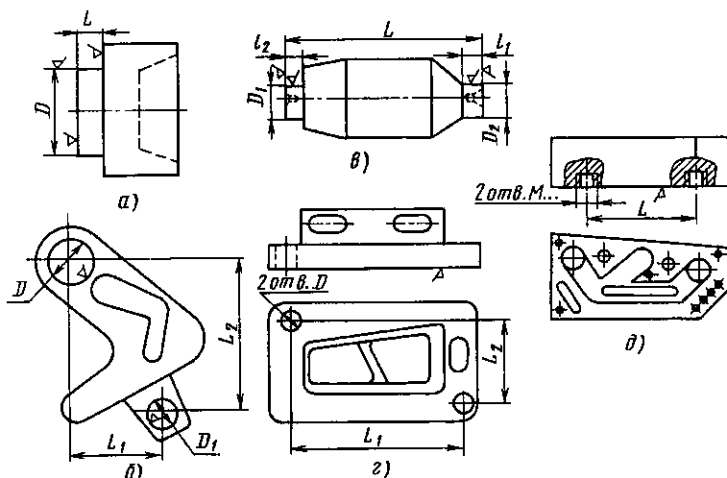


Рис. 25. Примеры заготовок с базовыми поверхностями, подготовленными для обработки на станках с ЧПУ

видов обработки — фрезерование базовой плоскости и обработка базовых отверстий (рис. 25, б, д). В ряде случаев одновременно с обработкой баз рекомендуется определенная черновая обработка по простому контуру, при которой удаляется часть припуска (рис. 25, в).

Основным содержанием технологических условий на поставку деталей после обработки на станке с ЧПУ является перечень обработанных на станке с ЧПУ поверхностей с указанием фактических вспомогательных размеров и необходимых доработок, определяющих последующие операции, производимые слесарным путем или на универсальном оборудовании.

### РАЗРАБОТКА МАРШРУТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ НА СТАНКЕ С ЧПУ

#### Выбор последовательности обработки детали

Последовательность обработки, увязанная с комплексом оснастки и режущего инструмента, полностью определяет маршрут обработки детали на станке с ЧПУ.

Прежде всего должен быть решен вопрос о количестве установов (положений) детали на столе станка.

Для каждого установа детали определяется:

- последовательность обработки по зонам, например, зона наружных и внутренних контуров, зона торцов ребер, участков торцовки ребер плоскости и т.д.;
- последовательность обработки по ее видам (черновая, чистовая) в каждой из зон;

— последовательность обработки отдельных элементов детали, находящихся в данной зоне при каждом виде обработки и требуемые типоразмеры режущего инструмента.

Для токарной обработки в зависимости от конфигурации черногового или чистового контура детали, формируемого за технологический переход, зоны обработки делятся на открытые, полуоткрытые, закрытые и комбинированные (рис. 26).

Открытая зона (рис. 26, а) формируется при снятии припуска с цилиндрической или конической поверхности. При выборе реза для этой зоны не накладываются ограничений на главный и вспомогательные углы реза в плане.

Полуоткрытая зона (рис. 26, б). Ее конфигурация регламентируется главным углом реза в плане.

Закрывающая зона (рис. 26, в) встречается преимущественно при обработке дополнительных поверхностей, и накладываются ограничения, как на главный, так и на вспомогательные углы в плане.

Комбинированные зоны (рис. 26, г) представляют собой объединение двух или трех зон, описанных выше.

На рис. 27 показана последовательность обработки по зонам при фрезеровании детали типа "корпус":

- зона А — фрезерование верхней плоскости; фреза торцовая 1;
- зона Б — фрезерование верхнего уступа; фреза торцовая 2 со вставными ножами с прямым углом;

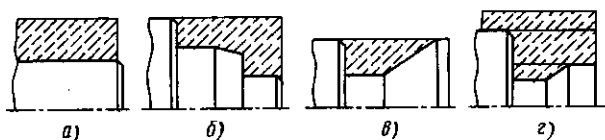


Рис. 26. Зоны токарной обработки

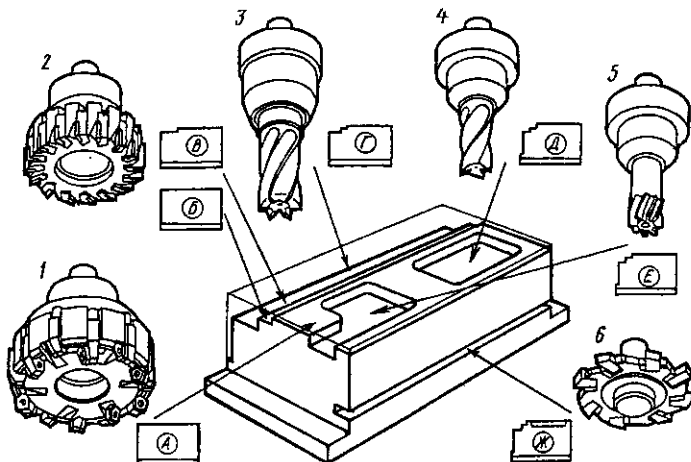


Рис. 27. Зоны обработки детали типа "корпус":

1-6 - применяемый инструмент

- зона В - фрезерование нижнего уступа; фреза торцовая 2;
- зона Г - фрезерование боковой поверхности; фреза концевая быстрорежущая 3;
- зона Д - фрезерование окна; фреза концевая с торцовыми зубьями 4;
- зона Е - фрезерование контурной выемки; фреза концевая 5 твердосплавная;
- зона Ж - фрезерование продольного паза; фреза дисковая 6 пазовая с твердосплавными вставными ножами.

#### Выбор режущего инструмента для станков с ЧПУ

Процесс выбора инструмента для станков с ЧПУ может быть условно разбит на четыре этапа:

- 1) назначение совокупности видов инструмента, определяющего маршрут обработки данной детали;

- 2) выбор технологических параметров каждого вида инструментов (материал режущей части, углов заточки режущей кромки, количества зубьев), которое производится по общемашиностроительным нормам;

- 3) расчет геометрических параметров выбранного инструмента, отражающих специ-

фику обработки на станке с ЧПУ и определяющей содержание операции;

- 4) выбор специальных режущих инструментов для обработки сложных поверхностей.

Как показывает практика, использование на станках с ЧПУ режущих инструментов, применяемых на станках общего назначения, не всегда возможно или эффективно. В настоящее время для использования на станках с ЧПУ выделена и стандартизована особая группа режущего инструмента [1].

Резцы для токарных станков с ЧПУ имеют определенные типовые конструкции, являются сборными и оснащаются многогранными пластинами из твердого сплава, минералокерамики или сверхтвердых материалов. Они должны отвечать следующим требованиям:

- максимально использовать неперегриваемые пластины, механически закрепляемые на корпусе инструмента, что обеспечивает постоянство его конструктивных и геометрических параметров в процессе эксплуатации;

- использовать наиболее рациональные формы пластин, обеспечивающих универсальность инструмента, что позволяет обрабатывать одним резцом максимальное число поверхностей детали;

– позволять систематизацию основных и присоединительных размеров инструмента; резцы с различными углами в плане должны иметь одни и те же основные координаты, что создает удобство для программирования технологических операций;

- допускать возможность работы всех инструментов в прямом и перевернутом положениях;
- предусматривать применение в левом исполнении;
- обеспечивать повышенную точность инструмента, особенно резцовых вставок, по

сравнению с универсальным инструментом для станков с ручным управлением. Это необходимо для повышения точности предварительной наладки с установом инструмента "в размер" после его закрепления на станке или резцовом блоке;

- удовлетворительно формировать стружку и отводить ее по канавкам, образованным в процессе прессования и спекания твердого сплава или выточеным алмазным кругом на передних поверхностях пластин.

На рис. 28 показаны виды резцов, применяемых на токарных станках с ЧПУ.

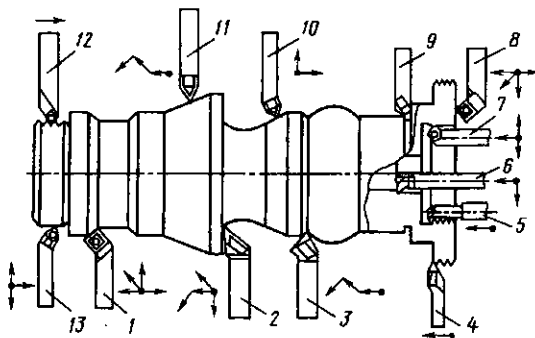


Рис. 28. Виды резцов, применяемых на токарных станках с ЧПУ:

- 1 – резцы проходные отогнутые правые с  $\phi = 45^\circ$  для патронной обработки деталей типа фланцев, которые обеспечивают наружную обточку, проточку торцов, проточку выточек, снятие фасок;
- 2 – резцы контурные с параллелограммными пластинами с  $\phi = 93...95^\circ$ , которые позволяют производить обточку деталей по цилиндру и конусу, протачивать обратный конус с углом спада до  $30^\circ$ , обрабатывать радиусные поверхности, галтели и протачивать торцы движением от центра детали к наружному диаметру. Данными резцами можно протачивать канавки для выхода шлифовального круга;
- 3 – резцы контурные с параллелограммными пластинами с  $\phi = 63^\circ$ , которые позволяют производить обработку полусферических поверхностей и конусов с углом спада до  $57^\circ$ ;
- 4 – резцы резьбовые с ромбическими пластинами, закрепленными сверху при помощи прихвата. Резцы позволяют нарезать резьбы с шагом от 2 до 6 мм. Угол профиля обеспечивается формой пластины;
- 5 – резцы резьбовые для нарезания внутренних резьб. Позволяют нарезать резьбы с шагом до 2 мм с близким подходом к торцу. Точность профиля резьбы обеспечивается заточкой пластин. Наименьший диаметр отверстия, в котором можно нарезать резьбу – 35 мм;
- 6 – резцы с ромбическими пластинами с  $\phi = 95^\circ$  для растачивания сквозных отверстий и проточки заточек;
- 7 – резцы расточные с  $\phi = 92^\circ$ , позволяющие растачивать отверстия диаметром от 22 мм и более;
- 8 – резцы проходные с  $\phi = 45^\circ$  и квадратными пластинами, левые для наружной обточки, проточки торцов деталей, проточки выточек, снятия фасок. Наибольшее применение находят при патронной обработке фланцевых деталей;
- 9 – резцы для проточки наружных прямых канавок шириной от 1 до 6 мм с глубиной, равной ширине. Пластины специальной формы закрепляются с помощью прихватов. Разработаны резцы с использованием специальных даусторонних пластин для проточки внутренних прямых канавок и наружных угловых. Аналогичные конструкции могут быть применены для обработки канавок под стопорные кольца, радиусные канавки и т.п.;
- 10 – резцы контурные с пластиной трехгранной правильной формы с  $\phi = 93^\circ$ , которые позволяют протачивать цилиндрические и фасонные поверхности. Достоинства их в том, что в них используются три рабочие вершины по сравнению с двумя у резцов с параллелограммными пластинами. Однако при этом жесткость крепления пластин снижается;
- 11 – резцы контурные с пластиной трехгранной формы с  $\phi = 63^\circ$ ;
- 12 – резьбовые резцы для нарезания наружных резьб с шагом до 2 мм. Режущая прямоугольная пластина закрепляется на державке с помощью прихвата. Профиль вершины резца обеспечивается заточкой пластин под углом, равным углу профиля резьбы;
- 13 – резцы проходные упорные с трехгранной пластиной неправильной формы с  $\phi = 92...95^\circ$ , которые позволяют протачивать ступенчатые поверхности, фаски, торцы движением от наружного диаметра к центру детали. Режущая пластина закрепляется клином или рычажным устройством

При проектировании фрез предъявляются следующие требования:

- обеспечение выхода стружки. Это достигается повышением угла наклона спирали. Например, при обработке алюминиевых сплавов рекомендуются специальные двух-трехзубые фрезы с углом наклона  $35...45^\circ$ . Рекомендуется также полирование стружечных канавок и алмазная доводка режущих кромок (рис. 29, а);

- изменение направления осевой составляющей усилия резания таким образом, чтобы составляющая прижимала деталь к столу станка. Это достигается применением праворежущих фрез с левой спиралью и леворежущих с правой спиралью, что способствует улучшению условий обработки тонких плоских деталей (рис. 29, б);

- уменьшение вибраций инструмента, которое осуществляется несимметричным расположением зубьев фрезы (рис. 29, в);

- заточка торца фрезы, позволяющая осуществлять вертикальное врезание в металл. Такая заточка может быть выполнена на двух- и четырехзубых фрезах. В последнем случае два противоположных зуба стачиваются под углом (рис. 29, г);

- повышение жесткости режущей части инструмента, что достигается повышением диаметра сечения сердечника (т.е. понижением глубины канавки), а также применением конического сердечника (канавки переменной глубины) (рис. 29, д);

- увеличение вылета инструмента в том случае, когда при обработке не требуется слишком длинной режущей части, однако, выступающие элементы детали не позволяют опустить пиньол на требуемый уровень. В этом случае для сохранения жесткости инструмента необходимо предусматривать усилительный конус (рис. 29, е);

- для обработки малованнанных стенок рекомендуются конические концевые фрезы, а также фрезы с изменяющейся геометрией (рис. 29, ж, з).

Для обработки сложных поверхностей на станках с ЧПУ используется специальный инструмент.

#### *Выбор приспособлений, применяемых на станках с ЧПУ*

Основные требования, предъявляемые к приспособлениям.

1. Необходимость ориентации приспособления с закрепленной заготовкой на столе станка и размерной увязки контура обрабатываемой детали с начальной точкой УП и осями координат станка.

Применяются следующие способы установки и ориентации приспособлений:

- установка приспособления на координатную плиту, жестко закрепленную и выверенную на столе станка, а также имеющую сетку координатных отверстий и Т-образных пазов (рис. 30). Центральное отверстие координатной плиты совмещается с нулем станка, таким образом ее базовые отверстия закоординированы в системе координат станка. Исходная точка программы *PS* задается от любых выбранных базовых отверстий координатной плиты;

- установка приспособлений на столе станка с фиксацией по центральному пазу.

Приспособление снабжается фиксирующими штырями или штырем и шпонкой (рис. 31, а). Установка инструмента в исходную точку задается от центрального базового отверстия.

- установка приспособлений на столе станка с базированием по центральному продольному пазу стола с помощью штырей и шпонок. Установка инструмента в исходную точку осуществляется шупом по угловому установу (рис. 31, б).

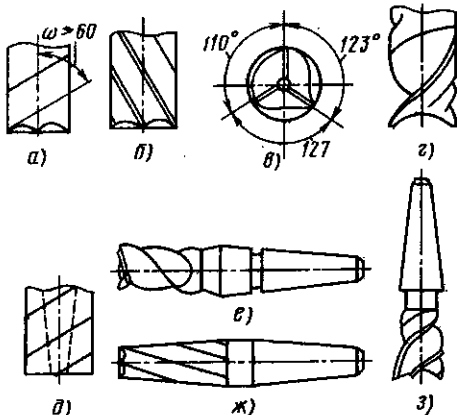


Рис. 29. Особенности концевых фрез, применяемых на станках с ЧПУ



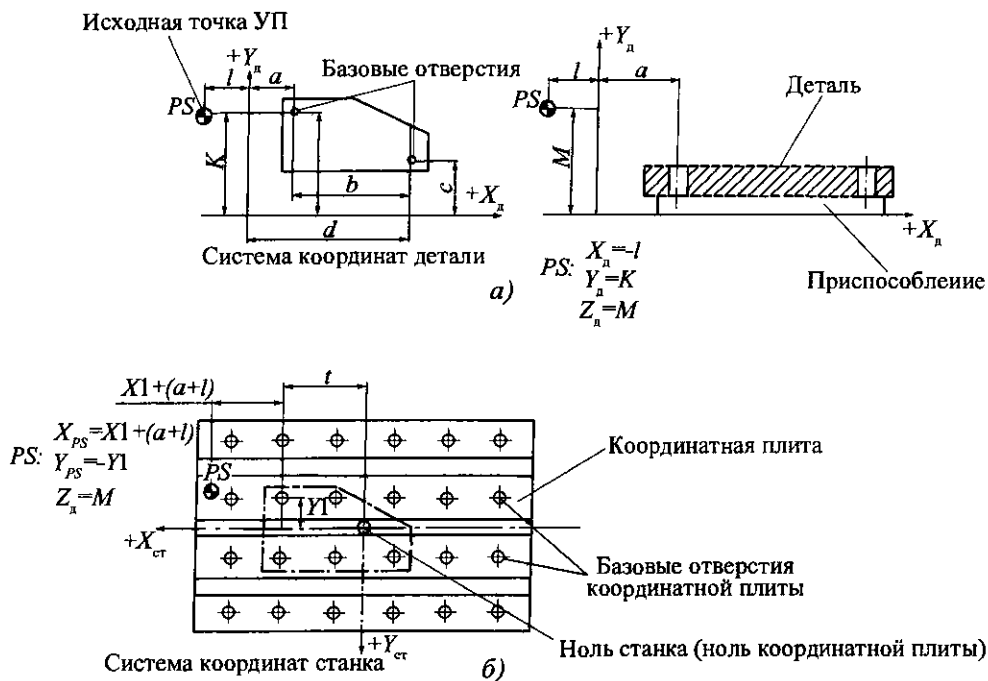


Рис. 30. Ориентация приспособления с установленной деталью при использовании координатной плиты:  
 а – задание исходной точки программы PS в системе координат детали;  
 б – задание исходной точки программы PS в системе координат станка

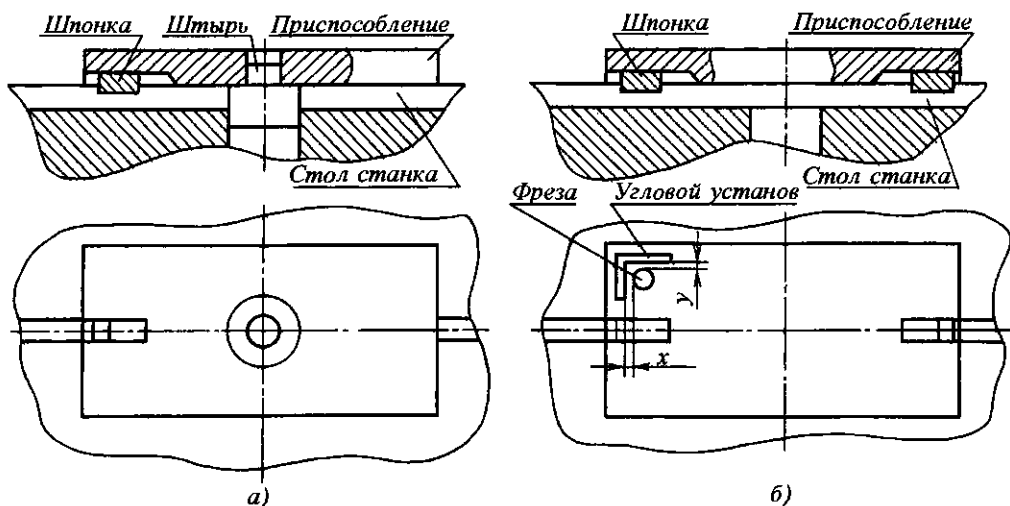


Рис. 31. Ориентация приспособлений по центральному пазу стола станка с ЧПУ:  
 а – при использовании штыря и шпонки; б – при использовании двух шпонок

2. Рациональное размещение приспособления с деталью, обеспечивающее равномерный износ передачи ходовой винт – гайка с трением качения.

3. Обеспечение максимальной жесткости системы "деталь – приспособление – стол", выполняемое следующим:

- уменьшением высоты  $H$  точки приложения силы резания над плоскостью стола (рис. 32, а);

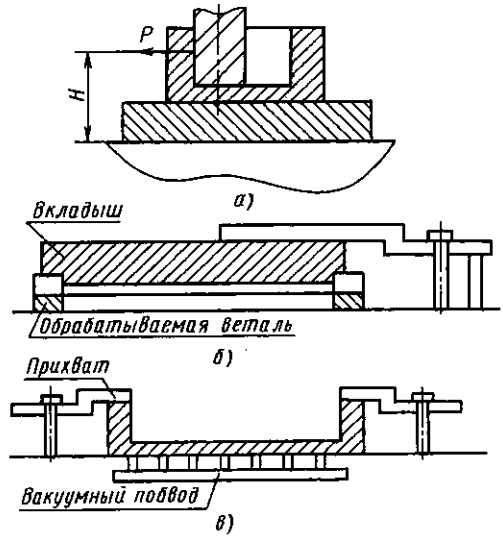
- применением элементов оснастки, увеличивающих жесткость обрабатываемой детали: вкладышей для тонокостенных деталей, дополнительных опор, ложементов, пружин (рис. 32, б);

- применением вакуумных подводов в комплекте с механическими прихватами (рис. 32, в).

4. Обеспечение минимальной высоты выступающих над деталью элементов приспособления с целью уменьшения длины инструмента, следовательно, повышения ее жесткости.

5. Использование отводных, съемных, откидных прихватов с целью обеспечения полного цикла обработки детали.

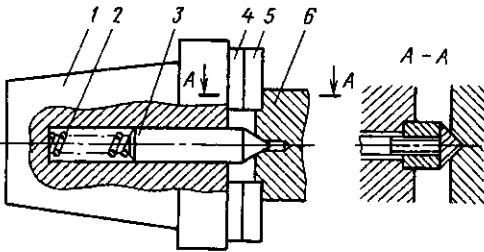
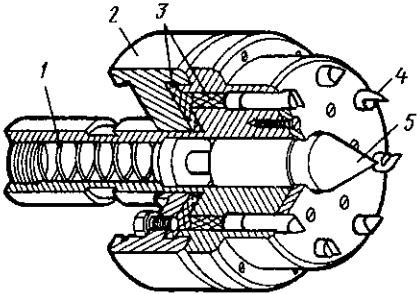
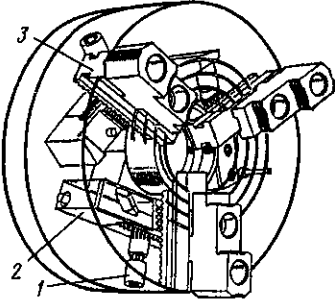
Классификация систем приспособлений, применяемых на станках с ЧПУ, приведена в табл. 19.

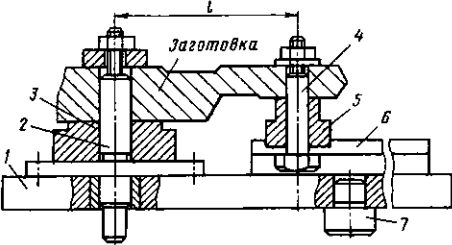
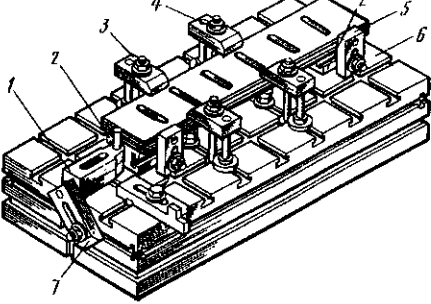
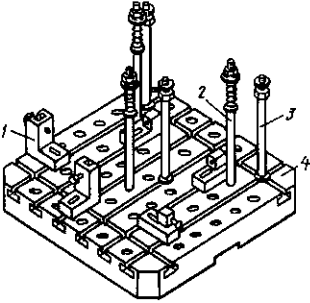


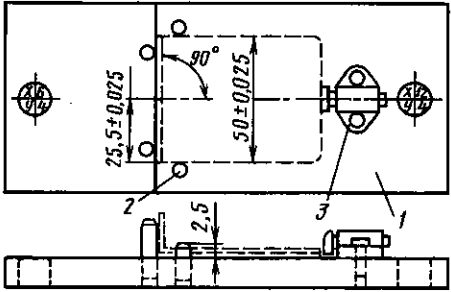
**Рис. 32. Методы обеспечения максимальной жесткости системы "деталь – приспособление – стол":**  
 а – уменьшение высоты  $H$  точки приложения силы резания над плоскостью стола;  
 б – применение дополнительных элементов оснастки;  
 в – использование вакуумных подводов в комплекте с механическим креплением детали в приспособлении

**19. Приспособления, применяемые на станках с ЧПУ**

Система	Вид	Пример
1. Система универсально-безадачных приспособлений (УБП)	Центробежные (инерционные) поводковые патроны. Выполняют двух или трехкулачковыми. Кулачки представляют собой независимые эксцентрики, которые под действием центробежных сил, воздействующих на грузы, приближаются к поверхности заготовки и зажимаются за счет сил самоторможения при воздействии на заготовку силы резания	<p>1 – противовес; 2 – рычаг; 3 – кулачок</p>

Система	Вид	Пример
<p>I. Система универсально-безаладных приспособлений (УБП)</p>	<p><i>Патроны с торцовыми ножами.</i> Не закрывают наружную поверхность заготовки и точно определяют положение торца по оси Z всех заготовок партии. Постоянство силы нажатия заднего центра и высокая жесткость ножевых опор обеспечивают стабильное положение левого торца заготовок всей партии</p>	 <p>1 – корпус; 2 – пружина; 3 – центр; 4 – торцовый упор; 5 – иож упора из твердого сплава; 6 – обрабатываемая заготовка</p>
	<p><i>Патроны с плавающими ножами.</i> Имеют ножи, выполненные в виде цилиндров, расположенных в гнездах корпуса оправки. Число ножей у патрона может быть различным</p>	 <p>1 – пружина; 2 – корпус; 3 – гидростат; 4 – иож упора; 5 – центр</p>
<p>II. Система универсально-аладных приспособлений (УНП)</p>	<p><i>Патроны трехкулачковые переналаживаемые типа ПКС</i> (патрон клиновой самоцентрирующийся). Имеют в корпусе радиальные пазы, в которых размещены три основных кулачка, с рифленной поверхностью которых сопрягаются сменные кулачки. Сменные кулачки закрепляют сухарями и винтами. Приводом для быстродействующих патронов является механизированный силовой привод от электромеханических головок, пневматических или гидравлических цилиндров, закрепляемых с помощью переходного фланца на заднем конце шпинделя</p>	 <p>1 – валик-шестерия для быстрой смены кулачков; 2 – рейка с зубцами; 3 – кулачок с зубчатым основанием</p>

Система	Вид	Пример
<p>III. Система специализированных наладочных приспособлений (СНП)</p>	<p><i>Приспособления специализированные наладочные для обработки деталей типа рычагов.</i> Состоит из базовой плиты 1 и сменной оправки 2, штыря 4 и опор 3, 5. Приспособление базируется на столе станка коцом сменной оправки 2 и штырем 7. Заготовка базируется по плоскостям опор 3 и 5 и поверхностям оправки 2 и штыря 4 и закрепляется двумя гайками. Если использовать приспособление для установки заготовок типа кулачков по отверстию и шпоночному пазу, то применяется сменная оправка 2 со шпонкой</p>	 <p>1 – базовая плита; 2 – сменная оправка; 3, 5 – опоры; 4 – штырь; 6 – направляющие; 7 – базовый элемент</p>
<p>IV. Система универсально-сборочных приспособлений (УСП)</p>	<p>Приспособления УСП для обработки пазов сепаратора. Исходными для сборки приспособлений являются различные базовые элементы, с которыми (при компоновке и сборке приспособления) собираются установочные элементы дополнительного базирования, прихватывы и т.д.</p>	 <p>1 – опора с базовым штырем; 2 – базовые установочные элементы; 3 – прихват; 4 – гайки крепления; 5 – базовые планки; 6 – базовая плита; 7 – планки</p>
<p>V. Сборно-разборные наладочные приспособления (СРП)</p>	<p><i>Приспособления СРП-ЧПУ многоцелевых станков с ЧПУ для обработки корпусных деталей.</i> В комплект СРП-ЧПУ входят базовые сборочные единицы – плиты; стойки; опорные элементы – регулируемые, подвижные, самоустанавливающиеся опоры; планки; подкладки; установочные элементы – пальцы, штыри, шаблоны; крепежные детали и переходные планки. Для механизации закрепления в комплект могут входить прямоугольные и круглые плиты со встроенными гидравлическими цилиндрами, а также отдельные гидравлические прижимы</p>	 <p>1 – базовые элементы для установки заготовки; 2 – шпильки; 3 – регулируемые опоры; 4 – базовая плита</p>

Система	Вид	Пример
VI. Система неразборных специальных приспособлений (НСП)	<p>Специальные приспособления для станков с ЧПУ. Используются упрощенные конструкции в целях сокращения сроков изготовления приспособлений. Корпусом приспособления является стальной лист, на котором устанавливаются базирующие штыри, предназначенные для ориентации заготовки и универсальные зажимные устройства</p>	 <p>1 – корпус приспособления; 2 – базирующие штыри; 3 – универсальные устройства</p>

### РАЗРАБОТКА ОПЕРАЦИОННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ НА СТАНКЕ С ЧПУ

*Структура технологического процесса обработки детали на станке с ЧПУ*

При решении вопросов проектирования операционной технологии в целях формального описания технологического процесса следует пользоваться следующей классификацией элементов операционного технологического процесса (рис. 33).

Наименьшей законченной частью процесса является *переход*, который определяет коли-

чество обрабатываемой поверхности. Переходы делятся на элементарные, инструментальные, позиционные и вспомогательные.

*Элементарным переходом* является наименьшая неделимая часть процесса обработки, выполняемая одним инструментом без воздействия оператора на органы управления скоростью резания и подачи станка. Элементарный переход состоит из переходов, которые не являются законченной частью процесса, так как не характеризуют в полной мере качества, точности и производительности обработки.

В результате выполнения элементарного перехода образуется одна, так называемая *элементарная обрабатываемая поверхность* (ЭОП).

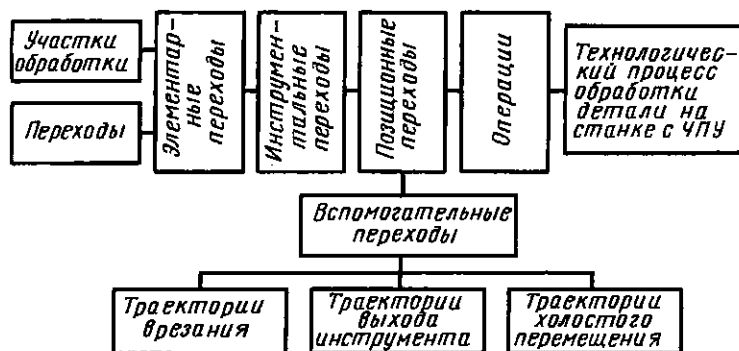


Рис. 33. Структура технологического процесса обработки деталей на станке с ЧПУ

Так как элементарная обработка поверхности (ЭОП) может иметь колеблющийся припуск, то и режимы резания в элементарном переходе могут не быть постоянными. Поэтому участок поверхности, образованной той частью прохода элементарного перехода, где режимы резания могут быть приняты неизменными, называется участком обработки. Это понятие необходимо при расчете режимов резания.

*Инструментальным переходом* называется законченный процесс обработки нескольких ЭОП непрерывным движением одного инструмента. Так, например, инструментальный переход, где обрабатывается плоскость и ограничивающие ее выступы, состоит из двух элементарных переходов.

*Вспомогательным переходом* называют часть траектории инструмента, не связанную с образованием ЭОП. В отличие от инструментов с ручным управлением время вспомогательного перехода входит в машинное время работы станка.

Траектория вспомогательного перехода делится на три типа:

- траектория подхода инструмента к началу инструментального перехода – *траектория врезания*;
- *траектории выхода инструмента из зоны обработки*;
- *траектории холостого перемещения инструмента*.

*Позиционный переход* – совокупность инструментального и вспомогательного переходов.

*Операция* представляет собой законченный комплекс всех позиционных переходов, выполняемых на станке с ЧПУ с помощью определенной оснастки.

Обязательным при окончании выполнения операции является совмещение исходной и конечной точки программы.

#### *Определение последовательности обработки элементов детали*

Определение последовательности обработки элементов детали, находящихся в зоне и объединяемых одним инструментом, выполняется на стадии проектирования операционного технологического процесса и может быть проведено в два этапа:

- первый этап – определение последовательности перемещения инструмента при обработке каждого из элементов;
- второй этап – нахождение наиболее выгодной последовательности перехода от элемента к элементу.

Результатом выполнения указанных двух этапов является формирование правильных позиционных переходов, состоящих из траекторий вспомогательных и рабочих перемещений инструмента.

При разработке плана операций построение вспомогательных перемещений в позиционных переходах производится с учетом следующих требований:

- а) начальная точка врезания обычно отстоит на 1...2 мм от внешней границы припуска, а конечная точка совпадает с начальной точкой инструментального перехода;
- б) начальная точка траектории выхода из зоны обработки совпадает с конечной точкой инструментального перехода;
- в) траектория холостого хода инструмента представляет собой совокупность отрезков траектории, соединяющих конечную точку траектории выхода из какого-либо инструментального перехода с начальной точкой врезания при выполнении следующего инструментального перехода;
- г) для врезания в припуск обрабатываемой детали выбирается выпуклый конструктивный элемент, подход к вершине которого возможен по касательной. Подход к плоской поверхности осуществляется под малым углом 5...10° или по касательной окружности. Подход к контуру окна (выпуклой поверхности) осуществляется по дуге окружности касательной к обрабатываемому контуру или поверхности;
- д) в случае подхода к обрабатываемой поверхности с перемещением по оси Z наиболее производительной является вертикальное врезание при использовании фрез с осевым врезанием. При значительном припуске врезание следует проводить либо с предварительным опусканием инструмента в заранее высверленное отверстие, либо зигзагообразным движением инструмента под углом 5...10°;

е) не допускается остановка фрезы или резкое изменение подачи в процессе резания, когда режущие кройки инструмента соприкасаются с обрабатываемой поверхностью. Перед остановкой, режимом изменения подачи, подъемом или опусканием инструмента необходимо обеспечить отвод инструмента от поверхности.

Одной из самых трудных проблем при технологическом проектировании является проблема построения траекторий *рабочих перемещений* инструмента в инструментальных переходах при обработке плоскостей и контуров.

При разработке плана операций построение траекторий рабочих перемещений обработки поверхностей в элементарных переходах

производится с учетом следующих правил технологической нормализации:

а) при выборе формы траекторий рабочих перемещений инструментов учитывают факторы:

- конструктивные особенности участка обработки (наличие препятствий по контуру плоскости, жестких элементов);

- метрические и топологические характеристики обрабатываемой плоскости и ее контура (площадь, многосвязность, вид контура);

- тип кривых, составляющих контур;

- марка обрабатываемого материала;

- состояние заготовки (штамповки, проката, литье и т.д.);

- динамические характеристики станка, например, разность скоростей рабочих органов при изменении направления траектории инструмента;

б) в целях понижения колебаний и предупреждения зарезов обработка конструктивного элемента детали производится от менее жесткого участка к более жесткому. Например, обработка колодца должна начинаться из центра, а кармана – с середины открытой стороны;

в) последний чистовой проход выполняется со снятием припуска не более  $(0,1 \dots 0,2) D_{фр}$ ;

г) при обработке внешнего контура детали применяется попутное фрезерование, т.е. обход внешнего контура по часовой стрелке, внутреннего контура – против часовой стрелки;

д) обычно обработка контура производится за два и более проходов (черновая, получистовая и чистовая обработки). При этом избегают отдельного программирования черновой обработки путем использования одной программы для чистовой и черновой обработки при применении разных диаметров фрез и смещением исходной точки программы;

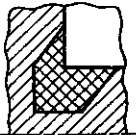
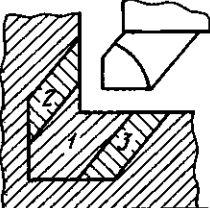
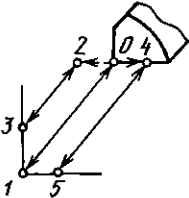
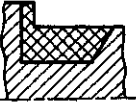
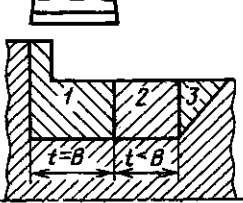
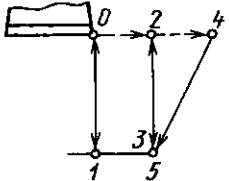
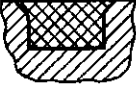
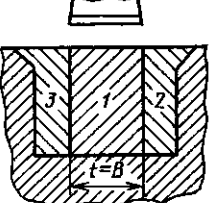
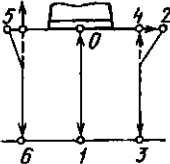
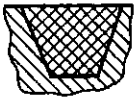
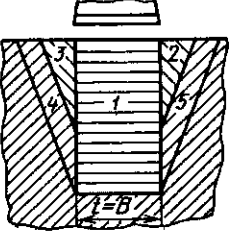
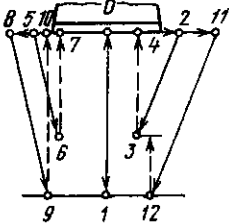
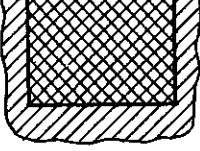
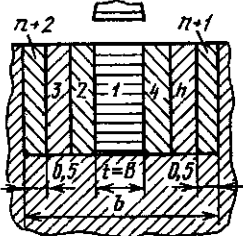
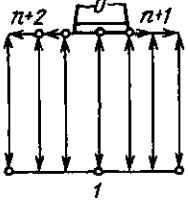
е) в случае обработки зеркально отображенных контуров на станке с ЧПУ можно получить контур левой части по программе, записанной для правой части, путем переключения полярности сигналов управления. При этом изменяют направление вращения шпинделя станка на обратное и выбирают леворежущий инструмент (вместо праворежущего).

Примеры типовых схем организации рабочих перемещений в технологических переходах при черновой токарной обработке приведены в табл. 20 и 21, примеры типовых схем фрезерных переходов – на рис. 34, обработки отверстий – на рис. 35.

20. Типовые схемы переходов при черновой токарной обработке основных поверхностей деталей

Схема перехода	Типовой переход в разных зонах обработки		
	Открытая зона	Полуоткрытая зона	Закрытая зона
<p>"Петля"</p>			
<p>"Виток ("зигзаг")"</p>			
<p>"Спуск"</p>			

21. Типовые схемы обработки канавок, проточек, желобов

Номер схемы	Элемент контура	Разбивка припуска	Траектория инструмента
1			
2			
3			
4			
5			



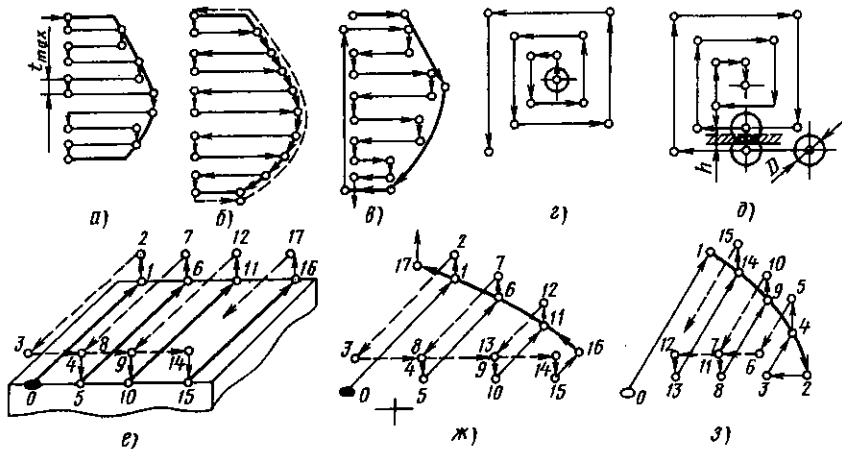


Рис. 34. Типовые схемы фрезерных переходов:

а – в – зигзагообразные (а – ЗИГЗАГ; б – 1ЗИГЗАГ; в – 2ЗИГЗАГ);  
 г, д – спиралевидные (г – СПИР ПЧС; д – АСПИР ЧС);  
 е – з – Ш-образного типа (е – ШТИП; ж – 1ШТИП; з – 2ШТИП)

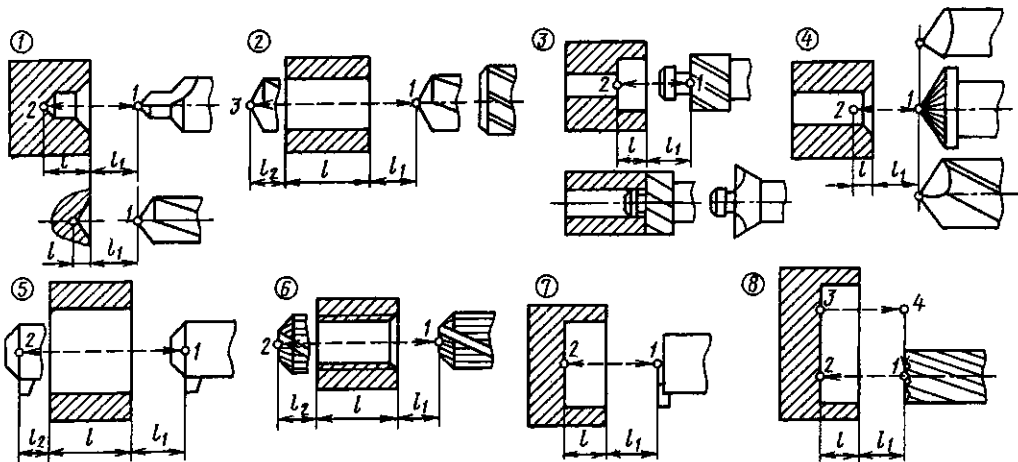


Рис. 35. Типовые переходы обработки отверстий:

1 – центровка центровочным или спиральным сверлом; 2 – сверление, зенкерование, развертывание;  
 3 – зенкерование донным зенкером, цекование; 4 – зенкование фаски конусной зенковкой, сверлом или резцом;  
 5 – растачивание отверстия; 6 – нарезание резьбы; 7 – растачивание глухого отверстия;  
 8 – фрезерование отверстий концевой фрезой;  $l_1$  – недоход;  $l_2$  – переberg;  $l$  – глубина отверстия

#### Выбор режима резания

Выбор необходимого режима резания и его корректировка с учетом условий реализации инструментальных переходов проводится по специальной справочной литературе [10].

Например, для процесса фрезерования при назначении режима резания исходными данными являются:

- для детали – марка и твердость обрабатываемого материала, состояние поверхности (наличие или отсутствие предварительной термообработки), величина обрабатываемого размера, требования по точности и шероховатости, величина снимаемого припуска;
- для инструмента – основные геометрические размеры режущей части, вылет инструмента, количество зубьев, материал режущей части;

– для станка – мощность приводов, пределы частот вращения шпинделя и подач рабочих органов.

В общем виде рекомендуется следующая последовательность выбора режима резания:

а) исходя из вида обрабатываемого материала (легкие сплавы, стали, чугуи и т.д.) и нормативных значений на величины параметров, определяющих: диаметр фрезы, количество зубьев, длину режущей части, глубину фрезерования выбирают по таблицам нормативное значение подачи на зуб;

б) выбранное нормативное значение подачи на зуб корректируют с учетом таких факторов: параметры шероховатости обрабатываемой поверхности, отношения фактического числа зубьев фрезы к нормативному значению, способ крепления детали и инструмента на станке;

в) по полученному значению скорректированной подачи на зуб выбирают по таблицам нормативные значения требуемых при обработке величин: скорость резания, обороты шпинделя и минутная подача;

г) в зависимости от условий обработки, а именно: вида обрабатываемой заготовки (штамповка, отливка и т.п.), вида обрабатываемой поверхности (плоскость, уступ, криволинейная поверхность и т.п.), марки обрабатываемого материала, марки режущей части инструмента, отношений фактической ширины фрезерования к нормативной, корректируют нормативные значения величины скорости резания, оборотов шпинделя и минутной подачи, которые в дальнейшем будут использоваться в управляющих программах при обработке зон детали или ее элементов;

д) выбор режима резания проверяют по потребной мощности привода станка, значение которой определяют по таблицах и уточняют в зависимости от твердости и предела прочности обрабатываемого материала.

#### *Составление расчетно-технологической карты обработки детали на станке с ЧПУ*

По операционным эскизам технологического процесса в соответствии с выбранными типовыми траекториями движения инструмента, технологом составляется *расчетно-технологическая карта* (РТК).

Расчетно-технологическая карта концентрирует в себе технологические решения, принятые на этапах технологической проработки, и содержит законченный проект обработки детали на станке с ЧПУ в виде графического изображения траектории движения инструмента со всеми необходимыми пояснениями и

размерами. По данным РТК рассчитываются УП обработки детали на станке с ЧПУ. Оформление РТК производится в следующей последовательности:

1) деталь вычерчивают и назначается система координат детали;

2) производится увязка размеров детали в данной системе координат;

3) выбирается исходная точка УП;

4) намечается расположение прижимов и зон крепления в соответствии с рекомендациями по выбору оснастки;

5) выбирается последовательность обработки элементов детали, параметры режущего инструмента и заносятся в таблицу;

6) наносятся траектории движения инструментов (построены эквидистанты), началом и концом траектории является исходная точка УП;

7) на траектории движения отмечаются (цифрами или буквами) опорные точки траектории и ставятся стрелки, указывающие направления движения инструмента. Опорные точки можно отмечать по геометрическим и технологическим признакам, т.е. они являются либо точками, в которых изменяется траектория движения инструмента, либо точками, в которых изменяется технологическое состояние обработки детали (изменение режимов резания, включение вертикальной подачи и т.п.);

8) указываются места, где происходит останов инструмента (для смены инструмента, переключения частоты вращения шпинделя, перезажима детали) с указанным продолжительности в секундах;

9) проставляются рассчитанные режимы резания в таблицу;

10) при оформлении РТК на нее наносятся дополнительные данные: буквенная или цифровой последовательность обработки, ссылки на технологически используемые приемы.

Рекомендуется использовать следующие

обозначения:  $\odot^{PS}$  – исходная точка программы;  $\bigcirc^{10 \text{ сек}}$  – точка остановки инструмента (задание временной паузы в 10 сек);  $\odot^{+20}$  – вертикальный подъем инструмента в точке на 20 мм;  $\odot^{-10}$  – вертикальное опускание инструмента в точке на 10 мм;  $\odot \rightarrow \odot$  – перемещение фрезы с одновременным подниманием или опусканием;  $\oplus$  – центр сечения базирующего штыря оснастки; -x-x- – траектория холостого хода.

Пример РТК на обработку внутреннего контура приведен на рис. 36.

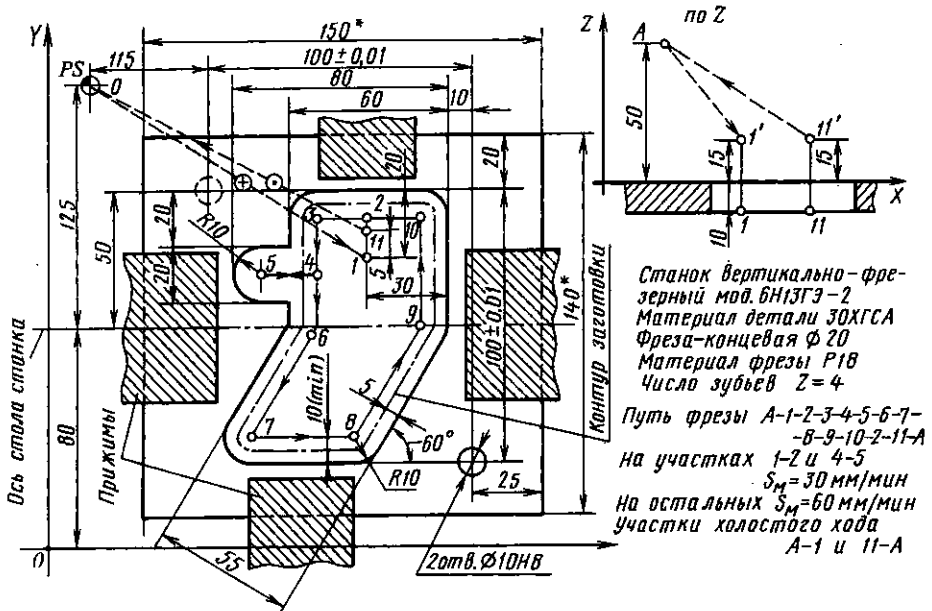


Рис. 36. Пример РТК на фрезерную обработку внутреннего контура

## РАСЧЕТ УП, КОДИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ И ЗАПИСЬ НА ПРОГРАММОНОСИТЕЛЬ

При использовании средств автоматизации этап IV и этап V объединяются в общий автоматизированный этап преобразования информации, выполняемый ЭВМ (см. табл. 15).

### Автоматизированная подготовка УП для станков с ЧПУ

Трудоемкость выполнения работ, связанная с технологической подготовкой производства, делает актуальными проблемы автоматизации программирования обработки для станков с ЧПУ. Это позволяет значительно сократить время разработки УП, повысить их качество, снизить вероятность ошибок. Появляется возможность выбора оптимального технологического процесса из множества вариантов.

В общем виде процесс подготовки УП можно представить как последовательное программирование отдельных этапов обработки детали (табл. 22). На каждом этапе решают определенные задачи. В зависимости от метода решения задач различают четыре уровня автоматизированной подготовки УП. Первый уровень – подготовка УП вручную. Методика подготовки УП, включая их редактирование,

зависит от типа УЧПУ станка. Подготовка УП вручную применяется при обработке относительно простых контуров деталей.

Второму – четвертому уровням соответствует применение систем автоматизированной подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ (САП УП) на базе ЭВМ. Уровень автоматизации САП УП определяется соотношением между объемом информации, задаваемым технологом-программистом, и информацией, заложенной в УП.

На втором уровне программирования ЭВМ выполняется расчет на основании указаний технолога о всех операциях, их последовательности, характере перемещений, виде инструмента и т.д. На третьем – используется опыт технолога по неформальным элементам технологической обработки.

Предусматривается возможность задания обобщенных указаний об обработке зон, используемых инструментах и режимах резания. В современных программно-методических комплексах автоматизации технологической подготовкой исходная информация содержит только данные об окончательной форме детали и заготовки. Все необходимые технологические решения (последовательность обработки, режимы резания, используемые инструменты и т.п.) выполняются ЭВМ с оптимизацией отдельных операций.

## 22. Уровни автоматизированной подготовки УП

Этап	Задача	Уровень автоматизации			
		1-й	2-й	3-й	4-й
I	Разделение операции на установки и позиции	-	-	-	+
	Выбор метода крепления заготовки	-	-	-	+
	Подготовка операционной карты	-	-	-	+
II	Определение последовательности переходов	-	-	-	+
	Выбор инструмента	-	-	-	+
	Разделение переходов на ходы	-	-	+	+
	Расчет режимов обработки	-	-	+	+
III	Подготовка карт наладки станка и инструмента	-	-	+	+
	Определение наладочных размеров инструмента и оборудования	-	-	+	+
	Пересчет размеров детали в координаты опорных точек траектории	-	-	+	+
	Расчет координат опорных точек	-	+	+	+
IV	Преобразование систем координат	-	+	+	+
	Формирование элементарных перемещений	-	+	+	+
	Определение технологических команд	-	+	+	+
	Кодирование УП	+	+	+	+
V	Запись УП на программноноситель	+	+	+	+
	Контроль программноносителя	+	+	+	+
	Контроль траектории инструмента	+	+	+	+
	Редактирование УП	+	+	+	+

Примечание. Знаком "+" отмечены задачи, решаемые на соответствующем уровне автоматизации средствами вычислительной техники.

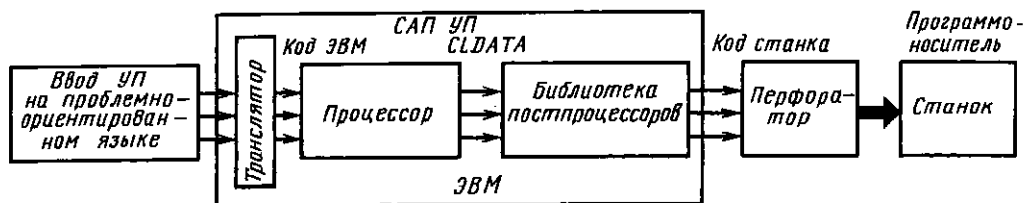


Рис. 37. Структурная схема автоматизированной системы технологической подготовки производства для станков с ЧПУ (САП УП)

В зависимости от типов станков с ЧПУ, для которых производится автоматизированное программирование, разработаны специализированные САП УП, например, "СПНС" для контурной обработки на фрезерных станках и универсаль-

ные САП УП, например, "АРТ", "АДАРТ", "NELNG", "ЕХАРТ", "САПР-ЧПУ", "PEPS", "КОСКОМ", "ИКАМ", "ТЕХТРАН", "Autark" и т.п. На рис. 37 показана структурная схема универсальной САП УП для станков с ЧПУ.

Это комплекс программ, который содержит:

- транслятор – программу для перевода информации с входного языка САП УП на язык машины;

- процессор – комплект программ для необходимых вычислений на машинном языке;

- постпроцессор – комплект программ для перевода информации с машинного языка на язык конкретного станка с ЧПУ.

### Командные языки САП УП

Синтаксис входных (командных) языков САП УП определяет формальные правила записи исходной информации, а семантика – смысловое значение его элементов. Элементами входного языка являются фразы, слова и символы.

*Фразой* записываются определение, указание, арифметическое выражение и обозначение части текста. Фраза состоит из последовательности слов и знаков.

*Словами* обозначаются понятия и задаются значения параметров. Различают главные слова, модификаторы, нормализованные обозначения, идентификаторы, маркеры, литералы и числа.

*Главные слова* определяют типы фраз или команды.

*Модификаторы* задают типы параметров или признаки выбора одного из нескольких возможных решений.

*Нормализованные обозначения* – это сокращения (от одной до шести букв наиболее часто встречающихся понятий языка).

*Идентификаторы* – уникальные имена, используемые для обозначения частей текста при ссылках на них во фразах (табл. 23).

*Маркеры* – идентификаторы, образованные из нормализованных обозначений и номеров.

*Литералы* – служат для записи различных наименований и примечаний, которые переносятся в сопроводительную документацию УП без переработки их в процессоре.

*Символы* – буквы, знаки, цифры.

Структура фраз входного языка САП УП строится по принципу: *главное слово / вспомогательная часть*.

Вспомогательная часть фразы может содержать: нормализованные обозначения, модификаторы и значения параметров. Фраза может быть обозначена идентификатором: *идентификатор = главное слово / вспомогательная часть*.

### 23. Возможные идентификаторы САП УП

Геометрический объект	Идентификатор	Максимальное количество	Пример
Точка	$P_n$	500	P25
Прямая	$S_n$	300	S35
Окружность	$C_n$	200	C13
Кривая	$K_n$	32 000	K1234
Группа	$G_n$	32 000	G100
Плоскость	$PL_n$	10	PL2
Сфера	$SPH_n$	5	SPH1
Цилиндр	$CYL_n$	5	CYL3

#### Содержание исходной информации

Записываемый на входном языке текст исходной информации содержит заголовок, общие данные, геометрические определения, технологические описания и примечания.

В *заголовке* указываются наименование детали, номер УП, исполнитель, дата.

В *общих данных* записываются модель станка с ЧПУ, крепежная и инструментальная оснастка, материал заготовки и другие сведения об условиях обработки.

*Геометрические определения* служат для описания геометрических элементов контуров и поверхности детали, заготовки и зон обработки, а также траектории инструмента.

*Технологические описания* служат для описания траектории инструмента с указанием его положений относительно ранее определенных геометрических элементов.

*Операторы управления постпроцессором* служат для обращения к постпроцессору, заданию вспомогательных функций станка.

#### Описание геометрических объектов

Основными геометрическими элементами при описании двухкоординатной фрезерной и токарной обработки являются точки, прямые, окружности и образования ими линии. Для многокоординатной обработки – плоскости, сферы, конусы и другие поверхности. При программировании сверлильно-расточных операций геометрическими элементами служат отдельные точки, определяющие положение центров обработанных отверстий.

Входной язык позволяет записывать различные преобразования над геометрическими элементами, например, такими как смещение, поворот, зеркальное отображение, масштаби-

рование. Обычно эти преобразования указываются с помощью фраз, определяющих систему координат.

Принципиальных отличий в определении геометрических элементов для различных САП УП практически нет.

Некоторые геометрические определения и их запись на языках различных САП УП приведены в табл. 24.

Например, определение точки декартовыми координатами на входном языке (АРТ)

$$P1=POINT/X1,U1.$$

Все САП УП позволяют и косвенное задание геометрических элементов, например, точки как пересечение прямых, окружностей, касание прямых и окружностей и т.д. (см. табл. 24).

24. Геометрические элементы, подлежащие описанию на языках САП

САП	Геометрические элементы		
	Точки, прямые	Окружность	Пересечение окружностей и прямых, касание элементов
СПД ЧПУ (АРТ)			
САПС			
ТЕХНОЛОГ			
ТЕХТРАН			
СПД ЧПУ (АРТ)			

При косвенном задании используются различные модификаторы, например, ХБ (XLARGE – X больше), УБ (У – больше), ХМ (XSMALL – X меньше), УМ (У – меньше), определяющие относительное положение того или иного элемента в системе координат. Так, точки пересечения прямой и окружности, окружности и окружности могут быть указаны в виде:

P5=POINT/XLARGE,INTOF,L1,C8

P3=POINT/YSMALL,INTOF,L1,C6.

Двойное касание окружности задается с использованием нескольких модификаторов "больше", "меньше", "справа", "слева", "вне", "внутри".

Например:

C9=CIRCLE/YSMALL,L2,YLARGE,OUT,C2,  
RADIUS,9.

Описание геометрических элементов ведется с использованием целого ряда ключевых слов (табл. 25).

## 25. Ключевые слова языка САП (рекомендации ИСО) и синонимы на базе русского языка

Понятие	Ключевое слово по ИСО	Синоним
Точка	POINT	Т
Прямая	LINE	П
Горизонталь	XPAR	Г
Вертикаль	YPAR	В
Ось X	XAXIS	ОХ
Ось Y	YAXIS	ОУ
Ось Z	ZAXIS	ОZ
Окружность	CIRCLE	К
Эллипс	ELLIPS	Э
Гипербола	HIPERB	ГИП
Аналитически заданная кривая	GCONIC	АЗК
Таблично заданная кривая	LCONIC	ТЗК
Система точек	PATERN	СТ
Плоскость	PLANE	ПЛ
Плоскость XY	XYPLAN	ХУПЛ
Плоскость YZ	YZPLAN	УЗПЛ
Плоскость ZX	ZXPLAN	ЗХПЛ
Плоскость, параллельная XY	ZSURF	ЗПЛ
Сфера	SPHERE	СФ
Цилиндр	CYLNDR	ЦИЛ
Конус	CONE	КОН
Таблично заданная поверхность	TABCYL	ТЗП
Вектор	VECTOR	ВЕК
Система координат	MATRIX	СК
Припуск	THICK	ПРИП
Центр	CENTER	Ц
Радиус	RADIUS	Р
Угол	ATANGL	УГ
Шаг	AT	Ш
Рама	-	РАМА
Решетка	GRID	РЕШ
Пересечение	INTOF	ПЕР
Смещение	TRANSL	СМ
Изменение масштаба	SCALE	ШК
Касательная	TANTO	КАС
Параллельно	PARLEL	ПАР

Окончание табл. 25

Понятие	Ключевое слово по ИСО	СИНОНИМ
Зеркальио	MIRROR	ЗЕР
По часовой стрелке	CLW	ПОЧ
Против часовой стрелки	CCLW	ПРЧ
Слева	LEFT	СЛ
Аналитически заданная поверхность	QADRIC	АЗП
Больше	LARGE	Б
Меньше	SMALL	М
X больше	XLARGE	ХБ
X меньше	XSMALL	ХМ
Y больше	YLAROE	УБ
Y меньше	YSMALL	УМ
Z больше	ZLARGE	ЗБ
Z меньше	ZSMALL	ЗМ
Влево	LFT	ВЛ
Вправо	RGT	ВПР
Вперед	FWD	ВП
Назад	BACK	НАЗ
Вверх	UP	ВВ
Вниз	DOWN	ВН
До	TO	ДО
На	ON	НА
За	PAST	ЗА
Исходное положение вершины	FROM	ОТ
Обрабатываемая поверхность	PS	ОП
Направляющая поверхность	DS	НП
Ограничивающая поверхность	CS	ГП
Справа	RIGHT	СПР
Внутри	IN	ВНТ
Снаружи	OUT	СН
Инструмент слева	TLLFT	ИНСЛ
Инструмент справа	TLRGT	ИНСПР
Инструмент лежит на ОП	TLONPS	ИННАОП
Инструмент касается ОП	TLOFPS	ИНПООП
Иди	GO	ИД
Иди до	GOTO	ИДДО
Приращение	GODLTA	ПРИР
Иди влево	GOLFT	ИДВЛ
Иди вправо	GORGRT	ИДВПР
Иди вперед	GOFWD	ИДВП
Иди назад	GOBACK	ИДНАЗ
Иди вверх	GOUP	ИДВВ
Иди вниз	GODOWN	ИДВН
Поворот вокруг оси Z	XYROT	ХУПОВ
Поворот вокруг оси Y	ZXROT	ЗХНОВ
Поворот вокруг оси X	YZROT	YZНОВ
Фреза	CUTTER	ФРЕЗА



Входным языком может быть описан не только отдельный геометрический элемент, но и определенный контур. Линии контуров детали определяются последовательностью геометрических элементов с указанием признаков, исключаящих неоднозначность выбора точек пересечения соседних элементов. При этом начало и конец контура определяются точками. Направление контура задается модификаторами "вперед", "назад", "вдоль построения элементов", "против", "влево", "вправо" и т.д. Например, для САП УП "PEPS" задание контура следующее:

K1 P1 TS1 AS3 P2 EK.

Задание групп, описывающих положение точек:

G10 P1 P21 X10 Y25 Z10 E6

или

G1 P1 > 20 E6,

где идентификатор G1 определяет все точки с P1 по P20.

Задание плоскости:

PL1 = X0 Y50 Z30 X0 Y0 Z20 P10

или

PL1 = G1.

Таким образом, обрабатываемая деталь для программирования ее в САП УП должна быть представлена в системе координат детали со вспомогательными траекториями, т.е. как состоящая из маркированных прямых, точек, дуг и т.д.

Командный язык САП УП позволяет записывать математические выражения, включая тригонометрические, логарифмические и другие функции.

Например, могут быть определены следующие математические функции:

SIN – синус угла в градусах;  
 COS – косинус угла в градусах;  
 TAN – тангенс угла в градусах;  
 ATN – арктангенс;  
 LOG – логарифм по основанию 10;  
 LN – натуральный логарифм;  
 ABS – абсолютное значение;  
 INT – интеграл;  
 SQT – корень квадратный.

Пример: W1=sin(30)  
 W2=10\*(sin(30)\*20+5\*cos(30)).

Все геометрические значения могут быть определены через скалярные величины.

Пример: W(10+11)=12.345  
 P(100+120)=X24 Y6  
 S1=P(11) P(12).

Описание траектории инструмента

Траектория инструмента на входном языке описывается командами движения и указаниями о положении инструмента относительно ранее определенных геометрических элементов.

Исходное положение инструмента задается точкой, в которой находится его вершина:

FROM/POINT/...  
 ОТ ТЧ...  
 ИЗ ТЧ...

Команды движения при позиционном управлении перемещениями от точки к точке определяется последовательностью положений вершины инструмента в абсолютной или относительной системе координат. Абсолютное перемещение задается фразой

GOTO/X, Y, [Z]

или

GOTO X45 Y20 Z50.

Для задания относительных координат перемещений используют фразу

GOTO/[ΔX, ΔY], ΔZ.

При непрерывном управлении обработкой контуров и поверхностей участки траектории инструмента задаются командами начала и продолжения движения с указанием расположения относительно обрабатываемой PS (ОП), направляющей DS (НП) и ограничивающей CS (ГП) поверхностей (рис. 38, а).

Если принять обрабатываемую плоскость в качестве заданной, то на виде сверху (рис. 38, б) плоскости DS и CS определяются следами их пересечения с обрабатываемой плоскостью.

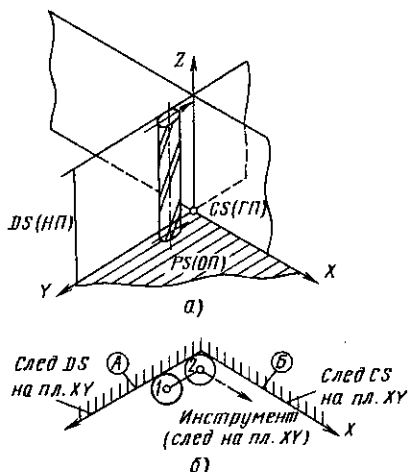


Рис. 38. Поверхности, определяющие непрерывное движение

В общем случае принимается, что на каждом участке траектории инструмент движется по PS (ОП) вдоль DS (НП) до CS (ГП). Так, при движении инструмента от точки 1 до точки 2 (см. рис. 38, б) след плоскости А будет направляющим для инструмента, а след плоскости В – ограничивающим. После изменения направления движение в точке 2 для инструмента направляющим будет след плоскости В.

При объемной обработке фрезерованием положение инструмента относительно обрабатываемой поверхности может быть задано ON (НА) – рис. 39, а или OF (касательно поверхности) – рис. 39, б. Когда ось инструмента перпендикулярна к обрабатываемой поверхности (рис. 39, в), положение инструмента относительно PS (ОП) задается его позиционированием вдоль оси Z.

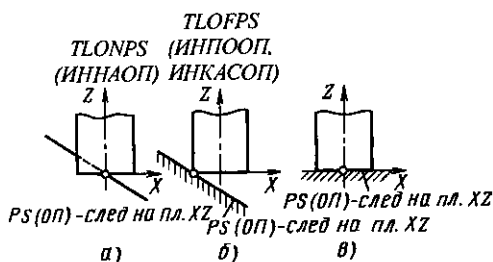


Рис. 39. Положения инструмента относительно обрабатываемой поверхности PS (ОП)

Задание положения инструмента относительно направляющей DS (НП) и ограничивающей CS (ГП) поверхностей характерно для плоского формообразования, когда траектория перемещения инструмента строится в одной плоскости.

На рис. 40 показаны возможные положения инструмента (фрезы) относительно DS (НП) и CS (ГП).

Непрерывное движение должно указываться оператором GO (ИД, ИДИ), который выводит инструмент в рабочее положение относительно управляющих поверхностей. Положение инструмента относительно каждой из них указывается модификаторами TO, ON, PAST (ДО, НА, ЗА), TLLFT (ИНСЛ) – инструмент слева, TLRGT (ИНСПР) – инструмент справа, TLOFPS (ИННАОП) – инструмент на PS (ОП), TLOFPS (ИНПООП) – инструмент касается PS (ОП), TLOFCS (ИНКАСГП) – инструмент касается CS или TLTANTOCS и т.д.

Использование указанных модификаторов определяет положение инструмента относительно заданного направления движения.

В табл. 26 приведено несколько примеров организации начала движения инструментов в различных САП УП. Схемы 1–4 обычно используют для организации начала движения инструмента из исходной точки программы до выхода на контур детали. Далее движение организуется как продолжение непрерывного, при котором последовательно указывают несколько направляющих поверхностей.

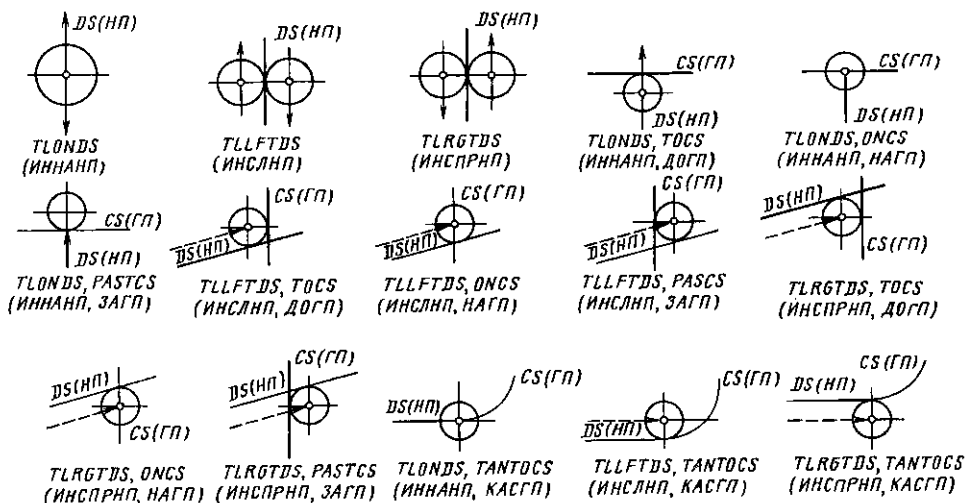


Рис. 40. Положения инструмента относительно направляющей DS (НП) и ограничивающей CS (ГП) поверхностей

## 26. Примеры организации начала движения инструмента в различных САП

Номер схемы	Графическое задание движения инструмента	Программное описание движения инструмента	Комментарий
1		<p>FROM/POINT (-18.5, 15) GOTO/P2 или FROM/P0 GO/TO 1.2, TO 1.1</p>	<p>По этой команде инструмент из точки P0 переходит в точку P2</p> <p>Вариант программы, при котором фиксируется положение инструмента по двум прямым. Инструмент выходит из точки P0 до касания с двумя прямыми L1 и L2</p>
2		<p>ИЗ ТЧ0 ИДИ ЗА ПР1</p> <p>ИЗ ТЧ0 НАПР ТЧ1 ИДИ НА ПР1</p>	<p>По этой команде инструмент по кратчайшему расстоянию из точки ТЧ0 перемещается в точку ТЧ5 за прямой ПР1</p> <p>В точке ТЧ1 перемещение инструмента программируется. Здесь операторм ПАПРТ указывается направление на точку</p>
3		<p>ИЗ ТЧ0 ИДИ НА ПР3, ДО ПР2</p> <p>ИЗ ТЧ0 ИДИ ДО ПР2</p> <p>ИЗ ТЧ0 НАПР В В1 ИДИ ДО ПР2</p>	<p>По этой команде инструмент перемещается из ТЧ0 в ТЧ1 до ПР2 по прямой ПР3. По этой команде инструмент из ТЧ0 перемещается в ТЧ3, т.е. по кратчайшему расстоянию</p> <p>Запись программы при наличии заданного вектора В1. Здесь оператор НАПР В предполагает указание вектора и направления движения</p>
4		<p>FROM/P0 GO/PAST L3, PAST L4</p>	<p>По этой программе инструмент перемещается за прямые L3 и L4</p>
5		<p>FROM/P0 GO/PAST L4 TLRGT,GOLFT/L4</p>	<p>По этой команде инструмент перемещается из точки P0 в точку P2 за прямую L4 и устанавливается правее L4 таким образом, чтобы далее двигаться "налево" вдоль нее</p>

Окончание табл. 26

Номер схемы	Графическое задание движения инструмента	Программное описание движения инструмента	Комментарий
6		<pre>FROM/P0 GO/ON,L1 GOLFT/L1,GO/TO,L6 TLLFT GOLFT/L6</pre>	<p>По этой команде инструмент перемещается из точки P0 на прямую L1, чтобы далее двигаться "налево" по ней до касания с прямой L6. Инструмент устанавливается "левее" прямой L6 и движется в ее направлении "влево"</p>
7		<pre>GOFWD/L1,TO C2 GOLFT/C2,PAST,2, INTOF,L1</pre>	<p>По этой команде инструмент движется прямо, вдоль прямой L1 до касания с окружностью C2. Устанавливается "левее" C2 и движется за "пересечение" (INTOF) окружности C2 с прямой L1</p>

При движении инструмента из точки в точку могут быть использованы модификаторы "ВПЕРЕД", LFT (ВЛЕВО), RGT (ВПРАВО), BACK (НАЗАД) с указанием его дальнейшего направления с обозначением направляющей поверхности и положения инструмента (ИН НА, ИН СПРАВА, ИН СЛЕВА). Например, движение инструмента программируется по схемам 5-6 (см. табл. 26). Если поверхности могут пересекаться более одного раза, то могут быть использованы "номера пересечений" с модификаторами TO (К), PAST (ЗА), TANTO (КАСАТЕЛЬНО) (схеме 7, табл. 26).

#### Команды управления постпроцессором

Унификация разработки постпроцессоров и их совмещение с различными САП УП требует принятия единого промежуточного языка процессор - постпроцессор. Наибольшее распространение получил промежуточный язык, рекомендованный комитетом ИСО.

Записанный на промежуточном языке текст передаваемой из процессора на постпроцессор информации CLDATA состоит из от-

дельных записей, обозначающих законченные по смыслу определения или указания. В общем случае запись состоит из главной и вспомогательной частей. Главная часть определяет название записи, а во вспомогательной части задаются параметры.

Запись представляет собой последовательность от 1 до 245 логических слов, разделенных знаками. Логические слова, обозначающие названия записей (главное слово) и параметров (вспомогательное слово), образованные сокращениями слов на английском языке, включающих до шести буквенно-цифровых символов. Словари главных и вспомогательных слов CLDATA приведены в табл. 27. В ЭВМ эти слова распознаются по их кодам.

Возможную последовательность записей в тексте CLDATA определяет вертикальная структура, а порядок следования логических слов в записях - горизонтальная структура CLDATA.

В тексте CLDATA можно выделить участки, описывающие самостоятельные по назначению группы данных. Их последовательность показана на рис. 41.

## 27. Словарь главных и вспомогательных CLDATA слов

Главное слово	Значение	Вспомогательное слово	Значение
CARDNO	Номер указания	BRKCHP	Ломка стружки
CIRCLE	Окружность	CCLW	Против часовой стрелки
CLAMP	Зажим	CLW	По часовой стрелке
CLEARP	Безопасная плоскость	CUTANG	Угол резания
COOLNT	Охлаждение	CUTS	Проход
COUPLE	Связь	DEEP	Глубокое сверление
CUTCOM	Компенсация инструмента	DEPTH	Глубина
CYCLE	Цикл	DIAMETR	Диаметр
DELAY	Выдержка	DRILL	Сверление
DRESS	Правка	DWELL	Выстой
END	Конец	FACE	Цекование
FEDRAT	Подача	FINCUT	Окончательный проход
FINI	Конечная запись	INCR	Приращение
FROM	Исходное положение	INVERS	Обратная ориентация
GOHOME	Возврат	LEFT	Слева
GOTO	Перемещение	LENGHT	Длииа
HEAD	Головка	MANUAL	Вручную
INSERT	Вставка	MMPM	Мм/мин
LOADTL	Загрузка инструмента	MMPR	Мм/об
MACHIN	Станок	MULTRD	Многосходовая резьба
MCHTOL	Точность обработки	OFF	Включене
MODE	Режим	ON	Выключение
MULTAX	Многокоординатная обработка	ORIENT	Орнеитация
OPSKIP	Условный пропуск	OSETND	Номер корректора
OPSTOP	Дополнительный останов	RANGE	Диапазон
ORIGIN	Начало	RAPTO	Подвод на быстром ходу
PARTNO	Номер детали	REV	Частота вращения
PITCH	Шаг	RIGHT	Справа
PPRINT	Печать постпроцессора	SETOOL	Положение настроечной точки
RAPID	Быстрый ход	SMM	Скорость в м/мин
RETRGT	Отвод	TAP	Нарезание резьбы
REWIND	Перемотка	THRU	Чередование рабочего и быстрого ходов
ROTABL	Поворот стола	TOOL	Инструмент
SAFPOS	Безопасная позиция	XCOORD	Координата x
SELCTL	Выбор инструмента	XYPLAN	Плоскость XY
SPINDL	Шпиндель	YCOORD	Координата y
STOP	Останов	YZPLAN	Плоскость YZ
THREAD	Резьба	ZCOORD	Координата z
BORE	Расточка	ZXPLAN	Плоскость ZX
BOTH	Оба		

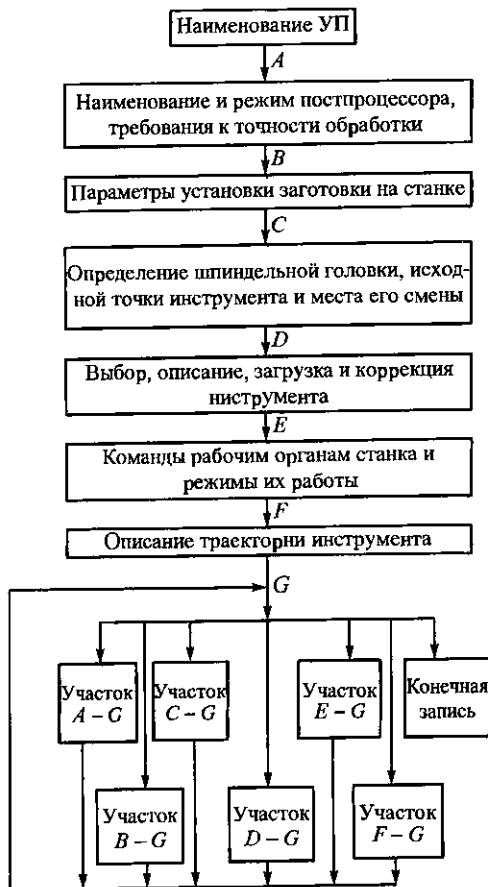


Рис. 41. Вертикальная структура промежуточного языка CLDATA

Текст CLDATA начинается записью (PARTNO), присваивающей название УП. Записи группы данных A-B определяют постпроцессором (MACHIN), режим его работы (MODE) и требования к точности обработки перемещений (MCNTOL). Записи группы данных B-C задают параметры установки заготовки на станке (CLAMP или ORIGIN), связывающие системы координат детали и станка. Записи групп данных C-D определяют шпиндельную головку (HEAD), исходную точку инструмента (FROM), место его смены (SAFPOS) и плоскость безопасности (CLEARP). Записи группы данных D-E связаны с выбором (SELCTL), описанием и установкой инструмента в рабочую позицию (LOADTL), а также его коррекцию (CUTCOM).

Записи группы данных E-F содержат команды рабочими органами станка (COOLNT, DRESS, ROTABL) и режимы их работы (STOP, SPINDL, FEDRAT, RAPID, OPSTOP, OPSKIP, DELAY, PITCH, COUPLE). Записи группы данных F-G определяют траекторию инструмента (GOTO, CIRCLE, MULTAX, CYCLE, TREAD, GONOME, RETRACT). Кроме перечисленных записей в тексте CLDATA используются записи для обозначения конца участка обработки (END), вставки кадров программы (INSERT), перемотки перфоленты (REWIND), печати выходных документов (PRINT), идентификации текста исходных данных с записями CLDATA (PARTNO) и конца текста CLDATA (FINI).

### КОНТРОЛЬ УП

В процессе внедрения технологического процесса обработки на станке с ЧПУ должны быть проверены правильность принятых технологических решений по последовательности обработки, выбору баз, режимов резания, по внедряемой оснастке, а также проверено соответствие всех размеров детали чертежу.

Контроль производится:

1) при использовании контрольных устройств, например, специальных устройств контроля программ, связанных с системами ЧПУ, различных графопостроителей. Целью контроля является визуальная проверка соответствия вычерчиваемой траектории обрабатываемому контуру;

2) обработкой УП на станке без установки инструмента, оснастки, заготовки. Целью является выявление грубых ошибок, связанных с расчетами и нанесением УП на программно-операторский терминал. При движении рабочих органов станка контролируется правильность показаний лимбов всех координат в соответствующих контрольных точках УП и возвращение в исходную точку УП. Одной из возможных ошибок является движение рабочих органов станка по координатам в сторону, обратную указанной в РТК. Причиной этой ошибки может служить неправильный выбор полярности сигналов в аппаратуре воспроизведения или записи. Если рабочие органы станка не возвращаются в исходную точку и показания лимбов в контрольных точках не соответствуют РТК, то возможно несколько причин, вызвавших эти ошибки:

- некачественная запись связанная с неисправностью аппаратуры записи;
- дефекты перфоленты;
- ошибки при расчете, кодировании информации и перфорации;

3) проверкой УП фрезерованием на листе металла (проверка в плоскости  $XOY$ ). Целью проверки является выявление ошибок в размерах. Фрезерование проводится на глубину 2...3 мм и используется фреза расчетного диаметра (без вертикальной подачи). После фрезерования измеряются размеры всех элементов детали и определяется фактический диаметр по ширине следа.

Наиболее характерными ошибками являются:

- несоответствие расчетного и фактического диаметров инструмента;
- ошибки расчета и записи УП;
- ошибки расчета и кодирования величины подачи;

4) после окончательной проверки в плоскости  $XOY$  производится фрезерование контрольной детали в целом с включением вертикальной подачи. Целью данного этапа обработки является проверка правильности применения технологических приемов, выбора режимов резания и всех размеров детали в соответствии с технологическим процессом и РТК. Обработка производится с применением оснастки и инструмента, отвечающим требованиям РТК.

## ОТЛАДКА УП НА СТАНКЕ С ЧПУ. ПРОБНАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛИ

Ответственным этапом работы является отладка разработанной УП. Этим занимается или сам технолог-программист, или опытный наладчик (оператор) станка с ЧПУ. В ходе отладки УП проверяют ее оптимальность по параметрам производительности и качества обработки детали, отсутствия вибраций, обеспечения заданной стойкости режущего инструмента, нормального схода стружки. Затем по результатам обработки пробной детали корректируют (редактируют) УП.

Работа начинается с выявления ошибок, не позволяющих нормально осуществлять процесс обработки. Чаще всего могут встречаться следующие ошибки:

- июль УП выбран за пределами рабочей зоны станка;
- использованы технологические команды, не выполняемые станком, завышенные рабочие перемещения и частоты вращения шпинделя;
- режущие инструменты при холостых перемещениях и при их смене задевают за детали станка, приспособления и за обрабатываемую деталь.

Первые две ошибки с точки зрения безопасности выявляют при отработке УП на холостом ходу. Наибольшее внимание требует проверка наличия в УП третьего вида ошибок, которые могут привести к аварийной ситуации.

Следующий этап проверки оптимальности УП – оценка правильности выбора режимов резания. Необходимо проверить соответствие заложенных в УП режимов резания возможностям инструмента и станка, надежность закрепления заготовки, отсутствие вибраций при обработке, нормальный сход стружки.

В процессе проверки УП в ряде случаев выполняют прорисовку контуров обрабатываемой детали (особенно сложных криволинейных) на планшете, который закрепляют на столе станка вместо приспособления. На станках с программируемыми устройствами ЧПУ возможен также вывод траекторий перемещений рабочих органов станка при проверке УП на экран графического дисплея.

Наладку станка с ЧПУ завершают обработкой первой детали партии. Этим как бы подводят итог правильности выполнения всех предшествующих этапов наладки: ознакомления с картой наладки и текстом УП; проверки программного обеспечения; подготовки, наладки и установки на станке наборов режущих и вспомогательных инструментов; подготовки и установки приспособления, базирования и закрепления в нем заготовки; установки рабочих органов станка в нуль УП; подготовки контрольно-измерительных инструментов и др.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гжиров Р.И., Серебrenицкий П.П. Программирование обработки на станках с ЧПУ: Справочник. Л.: Машиностроение, 1990. 588 с.
2. Дерябин А.Л. Программирование технологических процессов для станков с ЧПУ: Учеб. пособие для техникумов. М.: Машиностроение, 1984. 224 с.

3. **Евгеньев Г.Б.** Основы программирования обработки на станках с ЧПУ. М.: Машиностроение, 1983. 304 с.

4. **Инструмент для станков с ЧПУ, многоцелевых стаиков и ГПС / И.Л. Фадюшин, Я.А. Музыкант, А.И. Мещеряков и др.** М.: Машиностроение, 1990. 272 с.

5. **Кузнецов Ю.И., Маслов А.Р., Байков А.Н.** Оснастка для станков с ЧПУ: Справочник. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1990. 512 с.

6. **Марголит Р.Б.** Наладка стаиков с программным управлением. М.: Машиностроение, 1983. 254 с.

7. **Многоцелевые системы ЧПУ гибкой механообработкой / Под ред. В.Г. Колосова.** Л.: Машиностроение, 1984. 224 с.

8. **Машиностроение: Энциклопедия: Т. IV: Металлорежущие станки и деревообрабатывающее оборудование / Б.И. Черпаков, О.И. Аверьянов, Г.А. Адоян и др.; Под ред. Б.И. Черпакова.** М.: Машиностроение, 1999. 863 с.

9. **Никитейко В.Д.** Подготовка программ для станков с программным управлением. М.: Машиностроение, 1973. 240 с.

10. **Общемашиностроительные нормы** времени и режимов резания на работы, выполняемые на металлорежущих станках с программным управлением / Центр. бюро нормативов по труду при НИИТруда. М., 1980. 209 с.

11. **Проектирование металлорежущих станков и стаичных систем: Справ.-учеб.** В 3 т.

**Т. 1: Проектирование станков / А.С. Проников, О.И. Аверьянов, Ю.С. Аполлонов и др.; Под общ. ред. А.С. Проникова.** М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана: Машиностроение, 1994. 444 с.

**Т. 2: Расчет и конструирование узлов и элементов станков / А.С. Проников, Е.И. Борисов, В.В. Бушуев и др.; Под общ. ред. А.С. Проникова.** М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана: Машиностроение, 1995. 320 с.

12. **Ратмиров В.А.** Управление станками гибких производственных систем. М.: Машиностроение, 1987. 272 с.

13. **Научно-исследовательский институт технологии и организации производства (НИАТ): Руководящие технические материалы РТМ-1442-73 "Подготовка программ для обработки деталей на фрезерных станках с числовым программным управлением", 1975. 136 с.**



## Глава 18

### СЛЕСАРНЫЕ РАБОТЫ

К основным видам слесарных работ относятся рубка, резка, правка, опиление, шабрение, гравирование, разметка и др. Размеры инструментов для выполнения указанных видов работ регламентированы ГОСТами и нормами (табл. 1), а также приведены в справочной литературе [1–6].

#### 1. Перечень стандартов на инструмент и приспособления для слесарных работ

ГОСТ	Наименование
1465–80 (в ред. 1991 г.)	Напильники. Технические условия
1513–77 (в ред. 1991 г.)	Надфили. Технические условия
2310–77 (в ред. 1990 г.)	Молотки слесарные стальные. Технические условия
4045–75 (в ред. 1991 г.)	Тиски слесарные с ручным приводом. Технические условия
6476–80 (в ред. 1991 г.)	Напильники для затачивания пил по дереву. Технические условия
6876–79 (в ред. 1992 г.)	Рашпили. Технические условия
7210–75 (в ред. 1989 г.)	Ножницы ручные для резки металла. Технические условия
7211–86 (в ред. 1989 г.)	Зубила слесарные. Технические условия
12633–90	Машины ручные пневматические вращательного действия. Общие технические условия
28241–89	Тиски ручные. Технические условия

#### РАЗРЕЗАНИЕ

##### ПОЛОТНА ДЛЯ РУЧНЫХ НОЖОВОК

Полотна по металлу являются универсальным инструментом и подходят для отрезки заготовок разных размеров из большинства материалов. Общий принцип выбора шага зуба заключается в том, что чем мягче материал заготовки и/или чем больше ее размер, тем больше шаг зуба. В любой момент времени одновременно должны производить обработку не менее трех зубьев.

Обычно применяют полотна с шагом 18, 24 или 32 зуба на дюйм. Так, для отрезки больших заготовок из алюминиевых или медных сплавов рекомендуется шаг 18 зубьев на дюйм, тонкие заготовки из коррозионно-стойкой стали рекомендуют отрезать полотнами с шагом 32 зуба на дюйм; для большинства заготовок прочих конфигураций или из других материалов применяют шаг 24 зуба на дюйм, который считается универсальным.

Более подробно рекомендации по выбору шага зуба ножовочных полотен приведены в табл. 2.

#### 2. Рекомендуемое число зубьев на дюйм для ручных ножовок при различных условиях обработки

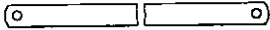
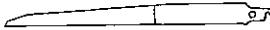
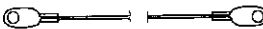


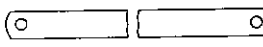
Обрабатываемый материал	Толщина или диаметр заготовки		
	более 5 мм	2...5 мм	менее 2 мм
Алюминиевые сплавы	18	18...24	24...32
Асбест			
Бронза		24...32	32
Твердая резина		18	24
Медь		18...24	24...32
Латунь		24...32	32
Твердая пластмасса		18...24	24...32
Чугун			
Мягкая сталь		24	32
Конструкционная сталь:			
низколегированная	18	24	32
высоколегированная	24		
Инструментальная сталь:			
низколегированная	18	24	32
высоколегированная	24		
Быстрорежущая сталь	24	24	32
Коррозионно-стойкая сталь	18	24	32

Основные конструктивные разновидности ножовочных полотен, выпускаемых фирмой ВАНСО (Швеция), приведены в табл. 3.

Биметаллическая конструкция заключается в том, что к основе полотна из пру-

жиной стали электроинно-лучевой сваркой приварена полоска из быстрорежущей стали, на которой нарезаны зубья. Такое полотно обеспечивает более высокую производительность, чем любые цельнозакаленные полотна

### 3. Разновидности современных полотен для ножовок по металлу

Эскиз	Материал	Размеры $L \times W \times T$ , мм	Число зубьев на дюйм	Область применения
	Биметалл	250×13×0,65; 300×13×0,65	14; 18; 24; 32	Для всех видов работ по металлу
	Быстрорежущая сталь. Полотно полностью закалено	300×13×0,65	18; 24; 32	В зависимости от степени гибкости полотна подразделяются на применяемые для работы: 1) в трудных условиях и ограниченном пространстве; 2) в тисках
	Низколегированная высококачественная сталь. ТВЧ-закалка режущей кромки	300×13×0,65		Для меди, латуни, пластмасс и других относительно мягких материалов
	Биметалл	$L = 310$ мм	18; 24	Для обработки металлов, в том числе листовых
	Композит: металл, покрытый композитным сплавом с включениями карбидов вольфрама	$L = 150$ мм $L = 300$ мм	6 12	Для резания стекла, керамики, фарфора и стали
	Закаленная и отпущенная углеродистая сталь	$L = 150$ мм	32	Для резания металлов
	Углеродистая сталь. Режущая кромка содержит включения карбидов вольфрама	$L = 300$ мм	12	Универсальное применение
	Углеродистая сталь	$L = 610$ мм	32	Для отрезки вентиляционных, тонкостенных стальных и армированных труб
	Биметалл	600×13×0,65	32	Для листового металла, вентиляционных труб и т.п.

из быстрорежущей стали и лучше выдерживает различные перегрузки и напряжения, возникающие при работе инструмента, т.е. практически не ломается. Эти полотна сочетают высокую режущую способность и износостойкость с высокой гибкостью и во всех отношениях

превосходят полотна, изготовленные из быстрорежущей или инструментальной стали.

#### РУЧНЫЕ НОЖОВКИ ПО МЕТАЛЛУ

Данные для выбора конкретной разновидности ножовки по металлу (по рекомендациям фирмы ВАНСО) приведены в табл. 4.

#### 4. Конструктивные особенности и рекомендуемые области применения современных ножовок по металлу

Наименование, описание	Эскиз	Длина полотна, мм	Особенности конструкции, область применения
Эргономическая конструкция		300	Обеспечивается очень сильное натяжение полотна, его центрирование для баланса, быстросъемность и возможность установки под углом 55°
Конструкция с усиленной прямоугольной рамой		300	Допускается очень сильное натяжение полотна с обеспечением его быстросъемности и возможности установки под углом 55°. Может быть использована в качестве выкружной пилы
Традиционная конструкция		300	Натяжение полотна осуществляется горизонтальной деревянной ручкой
Мини-ножовка		250	Для работ в труднодоступных местах
Портативная лучковая пила		300	Для отрезки труб
Выкружная пила		310	Полотно может быть установлено под восемь различными положениями поворотом винта в рукоятке
Малая ножовка из цельностального профиля		150	Хромированная рамка с ручкой из стеклопластика
Малая ножовка		150	Для отрезки мягких металлов
Малая рамка для ножовки по металлу		150	Для работ по металлу

## ОПИЛИВАНИЕ

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Опиливание бывает ручное и машинное. В процессе опиливания малые и средние заготовки крепят в тисках, а тяжелые – прихватами.

Применение высококачественных напильников экономически целесообразно, поскольку высокая производительность даже после длительного срока эксплуатации напильников с сохранением высокого качества обработанной поверхности снижает стоимость дорогой ручной работы.

Качество напильника определяется следующими факторами:

- 1) равномерностью структуры стали как предпосылке равномерной твердости напильника. Структура формируется в результате выполнения технологического процесса, включающего прокатку, формообразование (ковку), отковку хвостовика, закалку перед нанесением насечки и окончательную закалку;
- 2) точностью формы напильника и равномерностью насечки по плотности и глубине;
- 3) соответствием формы зуба варианту применения напильника.

В соответствии с ГОСТ 1465–80 (в ред. 1991 г.) напильники должны изготавливаться типов: 1 – плоские; 2 – квадратные; 3 – трехгранные; 4 – ромбические; 5 – иожевочные; 6 – полукруглые; 7 – круглые. Напильники по твердости подразделяются на исполнения: 01 – 60 HRC; 02 – 62 HRC; 03 – 58 HRC.

Слесарные напильники и надфили имеют универсальное применение. Ключевые и контактные напильники имеют тонкую конфигурацию рабочей части и рукоятки – они предназначены для обработки узких канавок и труднодоступных мест при больших усилиях. Корпусные напильники предназначены для обработки листовых материалов, в частности при ремонте автомобилей. Фрезерованные напильники предназначены для обработки мягких

металлов, серого чугуна, цветных металлов, меди, латуни. Заточные напильники предназначены для заточки пил, при этом в отдельную группу выделены напильники для заточки цепных пил. Рашипили – это напильники, предназначенные для работ по дереву. Для изготовления штампов и пресс-форм, а также при сборке приборов точной механики применяют прецизионные и рифельные напильники. Алмазные напильники и надфили применяют для обработки закаленных сталей, твердых сплавов, стекла, керамики и армированных стекловолоконным пластмасс.

Разновидностью слесарных напильников являются токарные напильники, которые применяют при работе на токарном станке. Контактные напильники, в отличие от надфилей, обладают высокой прочностью. Такие напильники, благодаря особой конструкции хвостовика, обеспечивают возможность приложения к ним значительных усилий. Корпусные напильники содержат натяжное устройство, благодаря которому можно изгибать напильник, подгоняя его форму под форму обрабатываемой поверхности.

## НАСЕЧКИ НАПИЛЬНИКОВ И НАДФИЛЕЙ

Структура насечек напильника показана на рис. 1.

Напильники с одинарной насечкой применяют для цветных металлов и дерева, а двойной (перекрестной) насечкой – для черных металлов, а с рашипильной насечкой (в соответствии с ГОСТ 6876–79 (в ред. 1992 г.)) – для мягких металлов, кожи, кости, дерева, каучука.

У напильников с одинарной и двойной насечкой (рис. 1, б) угол наклона зубьев  $\lambda = 25^\circ$ , а угол наклона вспомогательной насечки  $\omega = 45^\circ$ . У напильников с нарезанными зубьями  $\lambda = 20^\circ$ , а  $\omega = 70^\circ$ .

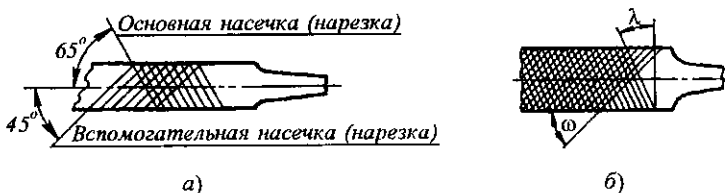


Рис. 1. Обозначения (а) и углы (б) насечек напильника

Основная насечка (нарезка) имеет направление слева направо, а вспомогательная – справа налево. Основная насечка образует профиль зуба, а вспомогательная разделяет его на отдельные участки, обеспечивая тем самым дробление стружки. Шаг основной насечки больше шага вспомогательной.

В соответствии с ГОСТ 1465–80 (в ред. 1991 г.) напильники изготавливаются шести номеров насечек – 0; 1; 2; 3; 4; 5 и четырех номеров нарезок – 0; 1; 2; 3.

Количество основных насечек или нарезок на 10 мм длины должно соответствовать табл. 5.

Количество вспомогательных насечек или нарезок на 10 мм длины должно соответствовать указанию в табл. 6.

У зарубежных напильников количество насечек должно соответствовать нормам DIN 8349. Количество насечек напильника – это их количество на 1 см длины напильника, считая в направлении оси. Взаимосвязь между количеством насечек напильника и технологическими особенностями его применения приведена в табл. 7. Например, для напильника длиной 250 мм, 9 зубьев на сантиметр соответствуют драчевой насечке, а той же насечке при длине напильника 100 мм соответствуют 17 зубьев на сантиметр. Такая особенность напильников обусловлена тем, что большее количество насечек у более коротких напильников обеспечивает одинаковое удобство пользования ими при обработке плоскостей и кромок.

### 5. Стандартизованные количества основных насечек напильников

Длина рабочей части напильника, мм	Номера насечек или нарезок					
	0	1	2	3	4	5
	Количество основных насечек или нарезок				Количество основных насечек	
100	—	14	20	28	40	56
125		12	17	24	34	48
150		10	14	20	28	40
200		8	12	17	24	34
250		7	10	14	20	28
300		5	6	8	12	—
350						
400						

### 6. Связь количества основных и вспомогательных насечек напильников

Количество основных насечек или нарезок												Количество основных насечек			
5	6	7	8	10	12	14	17	20	24	28	34	40	48	56	
Количество вспомогательных насечек или нарезок												Количество вспомогательных насечек			
4	5	6	7	8	10	12	14	17	20	24	28	34	40	48	

### 7. Количество насечек напильников по DIN 8349, зубьев/см

Длина напильника без хвостовика, мм	Слесарные напильники *1			Заточные напильники *2					
	Драчевая насечка	Получистовая насечка	Чистовая насечка	Получистовая насечка				Для рамных пил	
				Конфигурация напильника				Драчевая насечка	Получистовая насечка
				нормальный	узкий	чрезвычайно узкий	особо узкий		
100	17	22	28	20	23	26	—	—	—
125	—	—	—	19	—	24	25	—	—
150	13	18	22	17	20	22	24	26	24
175	—	—	—	16	19	21	23	—	—
200	10	14	18	15	17	20	22	18	20
250	9	12	16	14	16	17	—	16	18
300	8	11	14	—	—	—	—	14	16
350	—	10	13	—	—	—	—	12	14

\*1 Количество насечек  $\pm 8\%$ .

\*2 Количество насечек  $\pm 5\%$ .

Рашильную (точечную) насечку выполняют в виде зубьев пирамидальной формы, при этом каждый зуб смещен относительно расположенного впереди зуба на половину шага. В соответствии с ГОСТ 6876-79 (в ред. 1992 г.), соответствующим стандартам ИСО 234/Л-83 и ИСО 234/П-82, размер рашильной насечки – это число зубьев  $N$  на квадратном сантиметре широкой стороны неконической части рашилки, которое определяется по формуле

$$N = \frac{1000(n-1)}{L \times W},$$

где  $n$  – число зубьев в каждом ряду;  $L$  – расстояние между вершинами зубьев первого и

одиннадцатого ряда, мм;  $W$  – расстояние между вершинами первого и последнего зуба в ряду, мм.

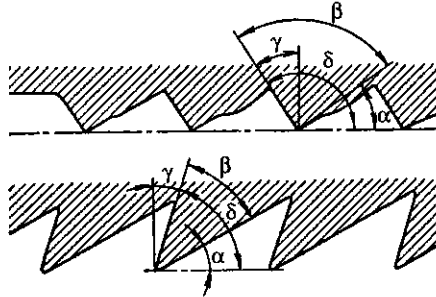
Дуговую насечку выполняют в виде зубьев криволинейной формы.

Форма зубьев напильников и геометрия зависят от способа их получения (табл. 8).

Насечку напильника выбирают в зависимости от толщины снимаемого слоя (припуска), требуемой точности и шероховатости поверхности (табл. 9).

Надфили используют для обработки мелких точных деталей и зачистки труднодоступных мест. Они имеют перекрестную (двойную) насечку: основную – под углом  $\varphi = 25^\circ$  и вспомогательную – под углом  $\omega = 45^\circ$ .

### 8. Форма и геометрия зубьев напильников



Способ образования зубьев	Значения углов, °			
	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$\delta$
Насеченные зубья .....	0...15	36	70	106
Фрезерованные или шлифованные .....	2...10	20...25	60...65	80...90

### 9. Точность и шероховатость поверхности при опиливании напильниками общего назначения в зависимости от вида напильника

Вид обработки	Вид напильника	Номер насечки	Припуск на обработку, мм	Слой, снимаемый за один проход, мм	Точность обработки, мм	Параметр шероховатости поверхности $R_a$ , мкм
Черновое опиливание	Драчевый	0 и 1	0,1...0,5	0,05...0,10	0,1...0,2	20...80
Чистовое опиливание	Личиной	2 и 3	0,15...0,3	0,02...0,06	0,02...0,05	2,5...10
Отделочная обработка	Бархатный	4 и 6	0,05...0,10	0,01...0,03	0,01...0,005	<1,25

В соответствии с ГОСТ 1513-77 (в ред. 1991 г.) надфили должны изготавливаться следующих типов: плоские тупоносые; плоские остроносые; квадратные; трехгранные; трехгранные односторонние; круглые; полукруглые; ромбические; иожовочные; овальные; пазовые. Узкие стороны плоских и иожовочных, и овальные стороны пазовых надфилей имеют одинарную (основную) насечку, кроме того, круглые надфили могут иметь спиральную одинарную насечку под углом  $20 + 5^\circ$ .

Надфили должны изготавливаться десяти номеров насечек: 00; 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8.

Количество основных и вспомогательных насечек на 10 мм длины должно соответствовать указанному в табл. 10.

В зависимости от длины рабочей части надфили должны иметь номера насечек, указанные в табл. 11.

Зарубежные прецизионные напильники и надфили имеют так называемую швейцарскую насечку, плотность которой приведена в табл. 12.

В соответствии с ГОСТ 6476-80 (в ред. 1991 г.) напильники для затачивания пил по дереву должны изготавливаться следующих типов: трехгранные; ромбические; круглые; плоские. Для этих напильников предусмотрены следующие исполнения по твердости:

01 – HRC 59 (первая категория качества);  
02 – HRC 62 (высшая категория качества).

Кроме того, в зависимости от характера насечек эти напильники изготавливаются исполнений: 1 – с перекрестной (двойной) и 2 – с одинарной насечкой. Насечки выполняются под углом  $60^\circ$  к оси напильника. Напильники с двойной насечкой имеют 24 основных и 20 вспомогательных насечек; с одинарной – 24 основные насечки на 10 мм длины.

По согласованию с потребителем допускается изготовление таких напильников с 17 основными и 13 вспомогательными насечками на 10 мм длины. Круглые напильники и узкие стороны трехгранных, ромбических и плоских напильников имеют только одинарную насечку.

### 10. Стандартизованные количества насечек надфилей

Номера насечек		00	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Количество насечек на 10 мм длины	основных	20	25	32	40	48	56	67	80	95	112
	вспомогательных	16	21	27	35	42	50	61	74	87	104

### 11. Взаимосвязь между номером насечек надфилей и длиной их рабочей части

Длина рабочей части, мм	Номера насечек									
	00	0	1	2	3	4	5	6	7	8
50	–	–	1	2	–	4	–	6	–	8
60	–	0	1	–	3	–	5	–	7	–
80	00	0	–	2	–	4	–	6	–	–

### 12. Насечки зарубежных прецизионных напильников и надфилей









Разновидность напильника	Длина, мм	Количество насечек на сантиметр для номеров							
		00	0	1	2	3	4	5	6
Прецизионный	100; 150; 200	16	20	25	31	38	46	56	68
	250	12	16	20	25	31	38	46	56
Надфиль	Все длины	20	25	31	38	46	56	–	–
Рифельный	150	–	25	–	38	–	–	–	–
	180	–	16	–	25	–	–	–	–
	300	–	12	–	20	–	–	–	–

### ХАРАКТЕРИСТИКИ НАПИЛЬНИКОВ И НАДФИЛЕЙ



Характеристики слесарных напильников приведены в табл. 13; ключевых и контактных напильников – в табл. 14; надфилей – в табл. 15; твердосплавных, корпусных, фрезерованных

напильников – в табл. 16 – 18; заточимых – в табл. 19; прецизионных напильников – в табл. 20; алмазных напильников в табл. 21 и 22 (производство фирмы PFERD/Германия). Форма и размеры надфилей из синтетических алмазов приведены в табл. 23.

#### 13. Характеристики слесарных напильников, мм





Наименование	Поперечное сечение, для длин, мм						Эскиз сечения
	Насечка						
	100	150	200	250	300	350	
Плоский тупоносый						$\frac{32,0 \times 7,5}{1, 2, 3}$	
Плоский остроносый	$\frac{12,0 \times 2,5}{1, 2, 3}$	$\frac{16,0 \times 4,0}{1, 2, 3}$	$\frac{20,0 \times 5,0}{1, 2, 3}$	$\frac{25,0 \times 6,0}{1, 2, 3}$	$\frac{30,0 \times 6,5}{1, 2, 3}$	$\frac{32,0 \times 7,5}{1}$	
Трехгранный	$\frac{8,0}{1, 2, 3}$	$\frac{11,0}{1, 2, 3}$	$\frac{15,0}{1, 2, 3}$	$\frac{17,5}{1, 2, 3}$	$\frac{20,0}{1, 2, 3}$	-	
Четырехгранный	$\frac{4,0}{1, 2, 3}$	$\frac{6,0}{1, 2, 3}$	$\frac{8,0}{1, 2, 3}$	$\frac{10,0}{1, 2, 3}$	$\frac{12,0}{1, 2, 3}$		
Полукруглый	-	$\frac{16,0 \times 4,5}{1, 2, 3}$	$\frac{20,0 \times 6,0}{1, 2, 3}$	$\frac{25,0 \times 7,0}{1, 2, 3}$	$\frac{30,0 \times 8,5}{1, 2, 3}$	$\frac{35,0 \times 10,0}{1, 2}$	
Полукруглый остроносый	$\frac{10,4 \times 2,5}{1, 2, 3}$					$\frac{35,0 \times 10,0}{1}$	
Круглый	$\frac{4,0}{1, 2, 3}$	$\frac{6,0}{1, 2, 3}$	$\frac{7,5}{1, 2, 3}$	$\frac{9,5}{1, 2, 3}$	$\frac{12,0}{1, 2, 3}$	$\frac{15,0}{1, 2}$	
Ножевой		$\frac{16,0 \times 2,5 \times 1,25}{1, 2, 3}$	$\frac{20,0 \times 6,4 \times 1,5}{1, 2, 3}$	$\frac{25,0 \times 7,9 \times 1,75}{1, 2}$			
Токарный				$\frac{25,0 \times 6,0}{1}$	$\frac{30,0 \times 6,5}{1}$		

#### 14. Характеристики ключевых и контактных напильников, мм

Наименование	Поперечное сечение, для длин, мм				Эскиз сечения
	Насечка				
	100	125	150	215 <sup>*1</sup>	
Плоский тупоносый	$\frac{10,0 \times 1,4}{2}$	$\frac{12,5 \times 1,6}{2}$	$\frac{16,0 \times 1,8}{2}$	-	
	$\frac{10,0 \times 0,8}{3}$		$\frac{8,0 \times 0,8^{*3}}{2}$	$\frac{10,3 \times 2,8}{00, 1^{*2}}$	
Плоский остроносый	$\frac{10,0 \times 1,4}{2}$	-	$\frac{16,0 \times 1,8}{2}$	-	



Окончание табл. 14









Наименование	Поперечное сечение, для длин, мм				Эскиз сечения
	Насечка				
	100	125	150	215 <sup>*1</sup>	
Трехгранный	$\frac{5,0}{2}$	—	—	$\frac{10,0}{00,1^{*2}}$	
Четырехгранный	$\frac{3,0 \times 3,0}{2}$			$\frac{6,0 \times 6,0}{00,1^{*2}}$	
Полукруглый	$\frac{9,0 \times 3,0}{2}$			$\frac{12,8 \times 3,7}{00,1^{*2}}$	
Круглый	$\frac{3,0}{2}$	$\frac{4,0}{2}$		$\frac{6,7}{00,1^{*2}}$	

\*1 Длина вместе с рукояткой.



\*2 "Швейцарская" насечка.

\*3 Контактный напильник; длина вместе с рукояткой.

## 15. Характеристики надфилей

Наименование	Поперечное сечение, для длин (диаметра) хвостовика, мм				Эскиз сечения
	"Швейцарская" насечка				
	140 (3,0)	160 (3,25)	180 (3,5)	200 (3,75)	
Плоский тупоносый	$\frac{5,1 \times 1,1}{0,1,2,3}$	$\frac{5,5 \times 1,2}{0,1,2,3}$	$\frac{60 \times 13}{00,0,1,2}$	$\frac{6,4 \times 1,3}{00,0,1,2}$	
Плоский остроносый	$\frac{5,1 \times 1,1}{0,1,2}$	$\frac{5,5 \times 1,2}{0,1,2,3}$		—	
"Птичий язык"	$\frac{4,5 \times 1,8}{0,1,2}$	$\frac{5,2 \times 2,1}{0,1,2,3}$	$\frac{5,7 \times 2,2}{0,1,2}$		
Трехгранный	$\frac{3,5}{0,1,2,3}$	$\frac{3,65}{0,1,2,3}$	$\frac{4,1}{00,0,2,3}$	$\frac{4,1}{00,0,2,3}$	
Четырехгранный	$\frac{3,0 \times 3,0}{2}$	—	—	$\frac{6,0 \times 6,0}{00,1}$	
Круглый	$\frac{3,0}{2}$	$\frac{4,0}{2}$		$\frac{6,7}{00,1}$	
Ножевой	$\frac{5,5 \times 1,5}{0,1,2}$	$\frac{5,8 \times 1,7}{0,1,2,4}$	$\frac{6,2 \times 1,8}{00,0,2}$	—	
Полукруглый	$\frac{5,0 \times 1,6}{0,1,2,3}$	$\frac{5,7 \times 1,8}{0,1,2,3}$	$\frac{60 \times 70}{00,0,2,3}$	$\frac{6,4 \times 1,8}{00,0,2,3}$	
Трехгранный остроносый	$\frac{5,0 \times 2,0}{0,1,2}$	$\frac{5,3 \times 1,8}{0,1,2,3}$	$\frac{5,6 \times 2,1}{00,0,1,2}$	—	

Окончание табл. 15

Наименование	Поперечное сечение , для длин (диаметра) хвостовика, мм "Швейцарская" насечка				Эскиз сечения
	140 (3,0)	160 (3,25)	180 (3,5)	200 (3,75)	
Плоский остроносый с круглыми краями	$\frac{5,1 \times 1,1}{1}$	$\frac{5,5 \times 1,2}{1, 2}$	$\frac{6,0 \times 1,3}{0}$	-	
Плоский тупоносый с круглыми краями		$\frac{5,5 \times 1,2}{0, 1, 2}$			
"Птичий язык" круглоовальный	$\frac{3,4 \times 2,3}{1}$	$\frac{3,8 \times 2,5}{1, 2}$	$\frac{4,0 \times 2,9}{0}$		




## 16. Характеристики напильников из твердого сплава

Форма	Размеры, мм	Количество зубьев на дюйм (см)	Особенности насечки
Плоская (параллелепипед)	50×10×5	25	Дугообразная, без стружколомных канавок
		17	Дугообразная, со стружколомными канавками
	132×20×7	13	Дугообразная, без стружколомных канавок
Круглая (цилиндр)	∅10×50	(8)	Спиральная, со стружколомными канавками
	∅12×50		


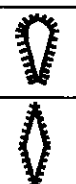

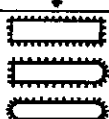
## 17. Характеристики автомобильных корпусных напильников

Размеры, мм	Количество зубьев на 1 дюйм (дугообразная насечка)	Размеры, мм	Количество зубьев на 1 дюйм (дугообразная насечка)
300×31,0×5,4	9, 10, 12	350×36,0×5,8	8
350×36,0×6,6	7	350×36,0×5,4	9, 10, 12



## 18. Характеристики фрезерованных напильников

Наименование	Поперечное сечение , при длине, мм Насечка			Эскиз сечения
	250	300	350	
Плоский тупоносый	$\frac{26,0 \times 7,0}{1, 2}$	$\frac{31,0 \times 8,3}{1, 2, 3}$	$\frac{36,0 \times 8,8}{1, 2}$	
Полукруглый выгнутый	$\frac{23,0 \times 7,0}{1}$	$\frac{27,0 \times 9,0}{1}$	-	
Плоское полотно	-	$\frac{31,0 \times 5,0}{1, 2}$	$\frac{36,0 \times 5,5}{1, 2}$	

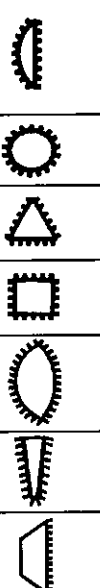
## 19. Характеристики заточных напильников

Наименование	Поперечное сечение Насечка, при длине, мм					Эскиз сечения	
	100	125	150	175	200		250
Трехгранный	<u>8,5</u> 2	<u>10,0</u> 2	<u>12,0</u> 2	<u>14,0</u> 2	<u>16,0</u> 2	<u>18,0</u> 2	
	<u>6,0</u> 2	<u>7,0</u> 2	<u>8,5</u> 2	<u>10,0</u> 2	<u>12,0</u> 2		
	<u>5,0</u> 2	<u>6,0</u> 2	<u>7,0</u> 2	—	—		
	—	<u>4,7</u> 2	<u>5,5</u> 2	<u>6,5</u> 2	<u>8,0</u> 2		
	<u>6,5×4,8</u> 2		—	—	—	—	
					<u>19,5×11</u> 2		
			<u>14,6</u> 2	<u>15,5</u> 2	<u>17,0</u> 2		
					<u>12,5</u> 2		
Ножевой	—	—	—	—	<u>20×6,4×1,5</u> 0	<u>25×7,9×1,75</u> 2	
					<u>25,0×6,0</u> 2	—	
Ромбический							
Плоский			<u>16,0×3,0</u> 2	<u>20,0×3,5</u> 2	<u>25,0×4,5</u> 2	<u>35,0×5,0</u> 2	






## 20. Характеристики прецизионных напильников

Наименование	Поперечное сечение Насечка, при длине, мм				Эскиз сечения
	100	150	200	250	
Штифтовой	—	<u>13,0×4,0</u> 00, 0, 2	<u>15,0×5,0</u> 00, 0, 2	<u>18,0×6,0</u> 00, 0, 2	
		<u>8,0×3,5</u> 00, 0, 2	<u>10,0×4,5</u> 00, 0, 2	<u>12,0×5,0</u> 00, 0, 2	
		<u>6,0×3,0</u> 00, 0, 2	<u>8,0×3,5</u> 00, 0, 2		
Плоский остроносый	—	<u>16,0×3,5</u> 0, 2	—	—	
		<u>16,0×2,0</u> 0, 2			

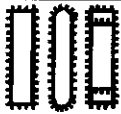






Окончание табл. 20

Наименование	Поперечное сечение, при длине, мм				Эскиз сечения
	Насечка				
	100	150	200	250	
Полукруглый	$\frac{12,0 \times 3,5}{00, 0, 1, 2, 3, 4}$	$\frac{16,0 \times 4,5}{00, 0, 1, 2, 3, 4}$	$\frac{21,0 \times 6,0}{00, 0, 1, 2, 3, 4}$	$\frac{25,0 \times 7,0}{00, 0, 1}$	
		—	$\frac{12,0 \times 3,5}{00, 0, 1, 2, 3, 4}$	—	
Круглый	$\frac{4,0}{0, 2}$	$\frac{6,0}{0, 2}$	$\frac{8,0}{0, 2}$		
Трехгранный	$\frac{6,0}{0, 1, 2, 3}$	$\frac{10,0}{0,1,2,3}$	$\frac{14,0}{0, 1, 2, 3}$		
Четырехгранный	$\frac{4,0}{0, 1, 2}$	$\frac{6,0}{0, 1, 2, 3}$	$\frac{8,0}{0, 1, 2, 3}$		
"Птичий язык"	—	$\frac{16,0 \times 4,5}{0, 2}$	$\frac{21,0 \times 6,0}{0, 2}$		
Ножевой	$\frac{12,0 \times 3,0}{0, 2}$	$\frac{18,0 \times 4,0}{0, 2}$	$\frac{22,0 \times 5,0}{0, 2}$		
"Барет"	—	$\frac{16,0 \times 4,0}{0, 2}$	$\frac{21,0 \times 5,0}{0, 2}$		

## 21. Характеристики алмазных слесарных напильников, мм

Наименование	Общая длина Длина покрытия	Ширина × высота Зернистость по FEPA	Эскиз сечения
Плоский тупоносый	$\frac{100}{85}$	$\frac{10 \times 3,2}{D126, D181}$	
	$\frac{125}{110}$	$\frac{11,2 \times 4,2}{D126}$	
	$\frac{150}{135}$	$\frac{13,0 \times 5,0}{D126, D181}$	
	$\frac{200}{180}$	$\frac{20,0 \times 5,0}{D151, D251}$	
Трехгранный	$\frac{100}{85}$	$\frac{7}{D126}$	
		$\frac{16}{D151, D251}$	
Четырехгранный	$\frac{200}{180}$	$\frac{8 \times 8}{D151}$	
Полукруглый	$\frac{100}{85}$	$\frac{12 \times 4}{D126}$	
		$\frac{20 \times 6}{D151, D251}$	
Круглый	$\frac{200}{180}$	$\frac{8}{D151}$	

## 22. Характеристики алмазных надфилей, мм

Наименование	Длина покрытия	Сечение Зернистость по FEPA	Эскиз сечения
Плоский тупоносый, в т.ч. с круглыми краями, плоский остроносый	40	$\frac{4,0 \times 1,2}{D25; D46; D91; D126}$	
	70	$\frac{5,5 \times 1,6}{D91; D126; D181}$	
Трехгранный	40	$\frac{3,0}{D25; D46; D91; D126}$	
		$\frac{4,0 \times 1,2}{D25; D46; D91; D126}$	
	70	$\frac{3,5}{D91; D126; D181}$	
		$\frac{5,0 \times 2,0}{D91; D126; D181}$	
Четырехгранный	40	$\frac{2,0 \times 2,0}{D25; D46; D91; D126}$	
	70	$\frac{2,6 \times 2,6}{D91; D126; D181}$	
Полукруглый	40	$\frac{4,2 \times 1,5}{D25; D46; D91; D126}$	
	70	$\frac{5,5 \times 1,6}{D91; D126; D181}$	
Круглый	40	$\frac{1,8}{D25; D46; D91; D126}$	
		$\frac{3,2}{D91; D126; D181}$	
Ножевой	70	$\frac{5,0 \times 1,8}{D91; D126; D181}$	
Ромбический		$\frac{5,0 \times 2,4}{D91; D126; D181}$	
"Птичий язык"	40	$\frac{3,8 \times 1,8}{D25; D46; D91; D126}$	
	70	$\frac{5,0 \times 2,2}{D91; D126; D181}$	

Форму поперечного сечения напильника и его размеры выбирают в зависимости от вида, размеров и расположения обрабатываемой поверхности, а длину – в зависимости от величины обрабатываемой поверхности.

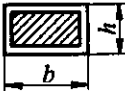

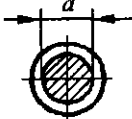
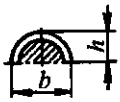
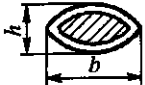

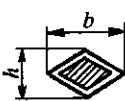
Напильники восстанавливают дважды, после чего их отправляют на перенасечку. Существуют три основных способа восстановления напильников.

**Обдувка песком.** Струя песка из сопла диаметром 5...7 мм под давлением 0,4...0,5 МПа

подается вначале вдоль канавок, а затем перпендикулярно спинке зуба.

**Химический способ.** Напильник очищают в 5%-ном растворе серной или соляной кислоты, затем обезжиривают в 5%-ном растворе едкого натра, промывают, чистят стальными щетками, после чего травят в 20%-ном растворе серной и азотной кислот в течение 8...10 мин. После химического заострения напильники выдерживают в течение 30 мин в кипящей воде.

## 23. Формы и размеры надфилей из синтетических алмазов

Наименование	Эскиз сечения	Обозначение	Основные размеры, мм
Прямоугольный: тупоносый		АНПТ	$b = 2,5 \dots 5;$ $h = 1$
		АНПО	$b = 4,0 \dots 5,5;$ $h = 1 \dots 1,5$
Квадратный: тупоносый		АНКТ	$b = 2,5 \dots 5$
		АНКО	$b = 2 \dots 3$
Круглый: тупоносый		АНКрТ	$d = 1 \dots 2,5$
		АНКрО	$d = 2,5 \dots 3,5$
Полукруглый: тупоносый		АНПкТ	$b = 2,5 \dots 4;$ $h = 1 \dots 2$
		АНПкО	$b = 4 \dots 5;$ $h = 2 \dots 2,5$
Овальный: тупоносый		АНОТ	$b = 2,5 \dots 6;$ $h = 1 \dots 3$
		АНОО	$b = 3 \dots 5;$ $h = 1 \dots 2$
Трехгранный: тупоносый		А2НТТ	$b = 4 \dots 6;$ $h = 1 \dots 2$
		АНТО	$b = 3 \dots 5;$ $h = 1 \dots 2$
Ромбический: тупоносый		АНРТ	$b = 3,5 \dots 5;$ $h = 2 \dots 3$
		АНРО	$b = 3,5 \dots 4,5;$ $h = 1,5 \dots 2$

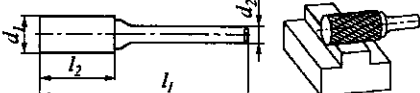
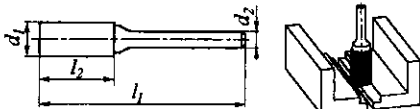
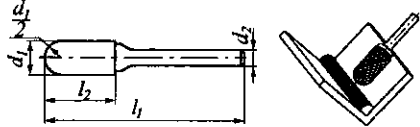
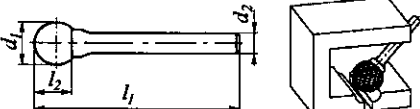
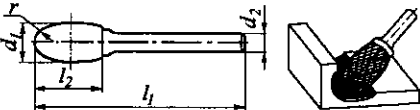
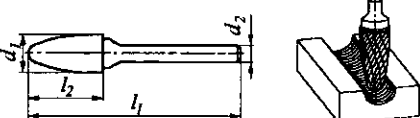
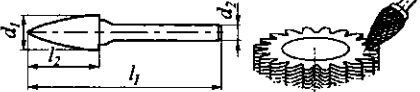
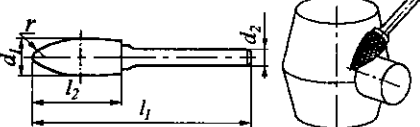
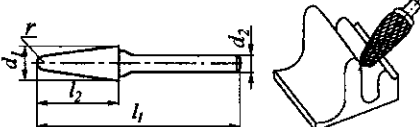
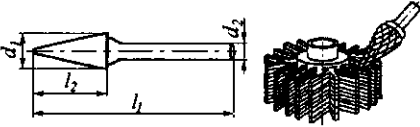
*Электрохимический способ.* Подготовка к заострению такая же, как и при химическом способе. Заострение производится в электролитической ванне следующего состава, %: 90 – воды, 7 – азотной и 3 – серной кислот (или 11 – азотной кислоты, 9 – серной и 80 – воды). Затем напильники промывают в щелочном растворе и выдерживают в течение 30 мин в кипящей воде.

## ОБРАБОТКА БОРФРЕЗАМИ

Борфрезы применяют для обработки поверхностей сложных форм при выполнении слесарных работ.

В настоящее время все ГОСТы на борфрезы отменены в связи со снятием этой продукции с производства. В табл. 24 приведены обозначения форм зарубежных борфрез по ISO/DIN 8033.

## 24. Формы борфрез по ISO/DIN 8033

Обозначение формы	Описание формы	Эскиз борфрезы и выполняемой операции
A/ZYA	Цилиндрическая без торцовых зубьев	
B/ZYB	Цилиндрическая с торцовыми зубьями	
C/WRC	Цилиндрическая с закругленным торцом	
D/KUD	Сферическая	
E/NRE	Овальная	
F/RBF	Арочная с закругленным торцом	
G/SPG	Арочная с заостренным торцом	
H	Пламевидная	
L/KEL	Коническая с закругленным торцом	
M/SKM	Коническая с заостренным торцом	

**ТВЕРДОСПЛАВНЫЕ БОРФРЕЗЫ**

С помощью твердосплавных борфрез можно обрабатывать материалы различной твердости. Это стало возможным благодаря оптимальному сочетанию формы, числа, угла наклона и угла резания зуба, а также правильному выбору скорости резания. Оптимальная скорость резания:

- учитывает вопросы охраны здоровья людей при выполнении технологической операции;
- исключает чрезмерную нагрузку приводной машины;
- гарантирует безударную работу;
- исключает вибрацию инструмента.

Высокая точность формы твердосплавных борфрез обеспечивает:

- применение их в автоматизированном (роботизированном) производстве;
- многократную переточку.

Для того чтобы описать режущую часть борфрез, применяют термин "форма зуба", который характеризует величину зуба (размер канавок для размещения стружки), а также непрерывность режущего лезвия.

Твердосплавные борфрезы (производства фирмы PFERD) имеют следующие формы зубьев:

- Alu - форма с наиболее крупными зубьями, которую применяют для обработки алюминиевых сплавов, а также пластмасс и твердой резины;
- Alu PLUS (Alu-P) - то же, что и форма Alu, но с дополнительной стружколомной на-

резкой, так, что режущая часть образована двойной спиралью;

- 1 - форма с крупными зубьями, предназначенная для обработки медных, оловянных, цинковых сплавов и других легкообрабатываемых материалов;
- 3 - форма со средними по размеру зубьями, применяется наиболее часто, предназначена для обработки сталей, в том числе литейных, сварных швов и большинства других сплавов;
- 3 PLUS (3-P) - то же, что и форма 3, но со стружколомной канавкой, что обеспечивает универсальность применения, в особенности для материалов, дающих сливную стружку;
- 4 - форма с насечкой зубьев в виде двойной спирали при среднем размере зубьев; рекомендуется для высококачественных коррозионно-стойких, теплостойких сталей и сплавов, в том числе титановых сплавов и сплавов на никелевой основе;
- 5 - форма с мелкими зубьями, предназначена для обработки сталей, подвергнутых термической обработке, в том числе закаленных до твердости 66 HRC;
- 5 PLUS (5-P) - то же, что и форма 5, но со стружколомной канавкой, что обеспечивает универсальность применения для всех материалов, в том числе термообработанных, при пониженной вибрации;
- FVK - специальная форма для обработки пластмасс.

Характеристики зарубежных твердосплавных борфрез приведены в табл. 25.

**25. Характеристики твердосплавных борфрез, мм**

Форма, описание	$\frac{d_1 \times l_2}{\text{Форма зуба}}$	$d_2$	$l_1$
ZYA, цилиндрическая без торцовых зубьев	$\frac{6 \times 7}{3P, 5}$	3	37
	$\frac{2 \times 10}{3P, 4, 5}$		40
	$\frac{3 \times 13}{3P, 4, 5}; \frac{6 \times 13}{3P, 5}$		43
	$\frac{10 \times 13}{3P, 4, 5}$	6	53
	$\frac{4 \times 13}{3P, 4, 5}; \frac{6 \times 16}{\text{Alu-P}, 3, 3P, 4, 5}$		55
	$\frac{8 \times 20}{3, 3P, 4, 5}; \frac{10 \times 20}{1, 3, 3P, 4, 5}$		60
	$\frac{10 \times 25}{3P, 4}; \frac{16 \times 25}{3, 3P, 4}; \frac{6 \times 25}{\text{FVK}}; \frac{12 \times 25}{\text{Alu-P}, 1, 3, 3P, 4, 5}$		8
	$\frac{12 \times 25}{3P, 4}; \frac{16 \times 25}{3P}; \frac{8 \times 25}{\text{FVK}}$		



Продолжение табл. 25

Форма, описание	$d_1 \times l_2$ Форма зуба	$d_2$	$l_1$
ZYA-S, цилиндрическая с торцовыми зубьями	$\frac{6 \times 7}{3P, 5}$	3	37
	$\frac{2 \times 10}{3P, 4, 5}$		40
	$\frac{3 \times 13; 6 \times 13}{3P, 4, 5}$		43
	$\frac{10 \times 13}{3P, 4, 5}$	6	53
	$\frac{4 \times 13}{3P, 4, 5}; \frac{6 \times 16}{Alu, 3P, 4, 5}$		55
	$\frac{8 \times 20}{3, 3P, 4, 5}; \frac{10 \times 20}{1, 3, 3P, 4, 5}$		60
	$\frac{10 \times 20}{Alu}$	8	
	$\frac{10 \times 25}{3, 3P, 4}; \frac{12 \times 25}{Alu, 3, 3P, 4, 5}; \frac{16 \times 25}{3, 3P, 4, 5}$	6	65
	$\frac{12 \times 25}{Alu, 3P}$	8	
KUD, сферическая	$\frac{3 \times 2}{3P, 4, 5}$	3	33
	$\frac{4 \times 3}{3P, 4, 5}$		34
	$\frac{6 \times 5}{3P, 4, 5}$		35
	$\frac{4 \times 3, 6}{3P, 5}$	6	45
	$\frac{6 \times 5, 4}{1, 3, 3P, 4, 5}$		
	$\frac{8 \times 7, 0}{Alu-P, 1, 3, 3P, 4, 5}$		
	$\frac{10 \times 9, 0}{1, 2, 3P, 4, 5}$	6	47
	$\frac{12 \times 10, 8}{Alu, Alu-P, 3, 3P, 4, 5}$		49
	$\frac{12 \times 10, 8}{Alu, Alu-P, 3P}$		50
	$\frac{16 \times 14, 3}{1, 3P, 4, 5}$	8	
	$\frac{16 \times 14, 3}{3P}$	6	54
	8		

Продолжение табл. 25

Форма, описание	$\frac{d_1 \times l_2}{\text{Форма зуба}}$	$d_2$	$l_1$
KUD, сферическая	$\frac{20 \times 18,0}{3, 3P}$	6	58
	$\frac{20 \times 18,0}{3P}$	8	
WRC, HMC, цилиндросферическая	$\frac{2 \times 10}{3P, 4, 5}$	3	40
	$\frac{3 \times 13; 6 \times 13}{3P, 4, 5}$		43
	$\frac{8 \times 7}{3P}$	6	47
	$\frac{10 \times 9}{3P}$		49
	$\frac{12 \times 10}{3P}$		50
	$\frac{4 \times 13}{3P, 4, 5}; \frac{6 \times 16}{Alu, Alu-P, 1, 3, 3P, 4, 5}$		55
	$\frac{8 \times 20; 10 \times 20}{1, 3, 3P, 4, 5}$		60
	$\frac{10 \times 20}{3P}$		
	$\frac{10 \times 25}{3, 3P, 4}; \frac{12 \times 25}{Alu, Alu-P, 1, 3, 3P, 4, 5}; \frac{16 \times 5,4}{1, 3, 3P, 4}$	65	6
	$\frac{12 \times 25}{Alu, Alu-P, 3P, 4}; \frac{16 \times 25}{3P}$		8
SPG, снарядная	$\frac{3 \times 7}{3P, 4, 5}$	3	37
	$\frac{3 \times 13; 6 \times 13}{3P, 4, 5}$		43
	$\frac{6 \times 18}{1, 3, 3P, 4, 5}$	6	55
	$\frac{10 \times 20}{1, 3, 3P, 4, 5}$		60
	$\frac{10 \times 20}{3P}$	8	
	$\frac{12 \times 25}{1, 3, 3P, 4, 5}$	6	65
	$\frac{12 \times 25}{3P, 4}$	8	

Продолжение табл. 25

Форма, описание	$\frac{d_1 \times l_2}{\text{Форма зуба}}$	$d_2$	$l_1$
SPG, снарядная	$\frac{12 \times 30}{1,3, 3P, 4,5}; \frac{16 \times 30}{1,3, 3P, 4}$	6	70
	$\frac{12 \times 30}{3P}; \frac{16 \times 30}{1, 3P}$	8	
SKM, остроконическая удлиненная	$\frac{3 \times 7(22^\circ)^{*1}}{3P, 5}$	3	37
	$\frac{3 \times 11(14^\circ)^{*1}}{3P, 4, 5}$		41
	$\frac{6 \times 13(26^\circ)^{*1}}{3P, 5}$		43
	$\frac{6 \times 18(18^\circ)^{*1}}{1, 3, 3P, 4, 5}$	6	55
	$\frac{10 \times 20(28^\circ)^{*1}}{1, 3, 3P, 4, 5}$		60
	$\frac{12 \times 25(26^\circ)^{*1}}{1, 3, 3P, 4, 5}$		65
	$\frac{12 \times 25(26^\circ)^{*1}}{3P}$	8	
KSI, KSK, остроконическая укороченная	$\frac{6 \times 5(60^\circ)^{*1}; 6 \times 3(90^\circ)^{*1}; 10 \times 10(90^\circ)^{*1}}{3}$	6	50
	$\frac{10 \times 13(60^\circ)^{*1}}{3}; \frac{16 \times 13(90^\circ)^{*1}}{3, 5}$		53
	$\frac{16 \times 16(60^\circ)^{*1}}{3, 5}$		56
B, поконковая (сферозлептическая)	$\frac{3 \times 7}{5}$	3	37
	$\frac{6 \times 13}{5}$		43
	$\frac{8 \times 20}{3,3P}$	6	60
	$\frac{12 \times 30}{3,3P}$		70
	$\frac{16 \times 35}{3}$		75
RBF, грибовидная	$\frac{3 \times 7}{3P, 5}$	3	37
	$\frac{3 \times 13}{3P, 4, 5}$		43

Продолжение табл. 25

Форма, описание	$\frac{d_1 \times l_1}{\text{Форма зуба}}$	$d_2$	$l_1$
RBF, грибовидная	$\frac{6 \times 18; 1,5^{*2}}{\text{Alu, 3, 3P, 4, 5}}$ ; $\frac{8 \times 20; 1,2^{*2}}{3, 3P, 4, 5}$	6	55
	$\frac{10 \times 20; 2,5^{*2}}{1, 3, 3P, 4, 5}$		60
	$\frac{12 \times 25; 2,5^{*2}}{\text{Alu, 1, 3, 3P, 4, 5}}$	8	65
	$\frac{12 \times 25; 2,5^{*2}}{\text{Alu, 3P}}$		
	$\frac{16 \times 30; 3,6^{*2}}{3, 3P, 4}$	6	70
	$\frac{16 \times 30; 3,6^{*2}}{3P}$	8	
KEL, кругло- коническая	$\frac{10 \times 20; 2,9^{*2}}{\text{Alu-P, 3, 3P, 4}}$	6	60
	$\frac{12 \times 25; 3,3^{*2}}{3, 3P, 4}$		65
	$\frac{12 \times 25; 3,3^{*2}}{3P}$	8	
	$\frac{12 \times 30; 2,6^{*2}}{\text{Alu, Alu-P, 1, 3, 3P, 4, 5}}$ ; $\frac{16 \times 30; 4,8^{*2}}{3P, 4}$	6	70
	$\frac{12 \times 30; 2,6^{*2}}{\text{Alu, Alu-P, 3P}}$ ; $\frac{16 \times 30; 4,8^{*2}}{\text{Alu-P}}$	8	
TRE, каплевидная	$\frac{3 \times 7}{3P, 5}$	3	37
	$\frac{6 \times 10}{3P, 5}$		40
	$\frac{6 \times 10; 2,8^{*2}}{3P, 4, 5}$	6	50
	$\frac{8 \times 13; 3,7^{*2}}{3P, 4}$		53
	$\frac{8 \times 16; 4,0^{*2}}{1, 3, 3P, 4, 5}$		56
	$\frac{12 \times 20; 5^{*2}}{1, 3, 3P, 4, 5}$		8
	$\frac{12 \times 20; 5^{*2}}{3P, 4}$		

Окончание табл. 25

Форма, описание	$\frac{d_1 \times l_2}{\text{Форма зуба}}$	$d_2$	$l_1$
TRE, каплевидная	$\frac{16 \times 25; 6,5^{*2}}{1, 3P, 4}$	6	65
	$\frac{16 \times 25; 6,5^{*2}}{3P}$	8	
WKN, угловая без торцовых зубьев	$\frac{3 \times 7(8^\circ)^{*1}; 6 \times 7(10^\circ)^{*1}}{3P, 5}$	3	37
	$\frac{10 \times 13(10^\circ)^{*1}; 12 \times 13(20^\circ)^{*1}; 16 \times 13(20^\circ)^{*1}}{3}$	6	53
WKN-S, угловая с торцовыми зубьями	$\frac{3 \times 7(8^\circ)^{*1}; 6 \times 7(10^\circ)^{*1}}{3P, 5}$	3	37
N, дисковая	$\frac{25 \times 3(90^\circ)^{*1}}{3}$	8	43
	$\frac{25 \times 3(90^\circ)^{*1}}{3}$		46
V, R, радиусная	$\frac{12 \times 15; 10^{*2}; 13 \times 15; 10^{*2}}{3}$	6	55
	$\frac{1,5^{*2}}{\text{специальный зуб}}$		60
	$\frac{3,0^{*2}}{\text{специальный зуб}}$	8	
	$\frac{16 \times 18,6^{*2}}{\text{специальный зуб}}$		

\*1 Угол при вершине.

\*2 Радиус скругления.

Рекомендуемые, фирмой PFERD, скорости резания и формы зуба в зависимости от обрабатываемого материала, вида обработки приведены в табл. 26.

### 26. Рекомендуемые условия обработки твердосплавными борфрезами

Обрабатываемый материал		Вид обработки	Форма зуба	Скорость резания, м/мин	
Сталь, литейная сталь	Незакаленные, обычные стали $\sigma_b$ до 1,2 ГПа (HRC < 35)	Грубая (большой сьем)	1	600...900	
			3, 3-P	450...600	
	Улучшенные, закаленные стали $\sigma_b$ свыше 1,2 ГПа (HRC < 35)	Инструментальная, улучшенная, легированная сталь, стальное литье	Грубая (большой сьем)	3	500...600
				3, 3-P, 4	250...350
		Тонкая	5	400	

Окончание табл. 26

Обрабатываемый материал			Вид обработки	Форма зуба	Скорость резания, м/мин
Высококачественные стали	Коррозионно-стойкие и кислотостойкие стали	Аустенитные и ферритные высококачественные стали	Грубая (большой сьем)	1	300...450
				3-Р, 4	250...350
			Тонкая	5	350...450
Цветные металлы	Мягкие цветные металлы	Алюминиевые сплавы, латунь, медь, цинк	Грубая (большой сьем)	Alu	600...900
				Alu-P	400...500
				1	600...900
			Тонкая	Alu	800...900
	Твердые цветные металлы	Бронза, титан и титановые сплавы, твердые алюминиевые сплавы	Грубая (большой сьем)	3,4	250...350
			Тонкая	3	350...450
Теплостойкие материалы		Никелевые сплавы, Ni-Co сплавы (производство турбин)	Грубая (большой сьем)	3-Р, 4	300...450
			Тонкая	5	350...500
Чугуны	Серый чугун	Чугун со сферическим графитом	Грубая (большой сьем)	1	600...900
				3, 3-Р	450...600
			Тонкая	3	500...600
Прочие материалы	Пластмассы и резина	Армированные волокном (стекловолокном) термопласты и реактопласты, твердая резина	Грубая (большой сьем)	Alu, Alu-P, FVK	500...900
			Тонкая	Alu	500...900

Для определения потребной частоты вращения инструмента при обработке как твердосплавными борфрезами, так и борфрезами из быстрорежущей стали можно пользоваться номограммой, приведенной на рис. 2.

Применение износостойких покрытий, нанесенных на твердосплавные борфрезы, позволяет достичь следующих результатов:

– покрытие золотистого цвета применяется при обработке обычных сталей и чугунов, отличается многообразием условий применения, повышает износостойкость инструмента и его устойчивость к смене температур, позволяет интенсифицировать режим резания;

– покрытие серого цвета применяется для обработки жаропрочных материалов. За счет минимизации коэффициента трения обеспечивает

снижение температуры резания и адгезионного износа;

– покрытие темно-серого цвета применяется для обработки вязких цветных металлов. Улучшаются условия скольжения стружки по передней поверхности режущих зубьев, и за счет этого исключается формирование засаливающих частиц на режущей части инструмента.

*Микроборфрезы* применяют для отделочной обработки отверстий (виутреннее шлифование) взамен абразивных головок, которые характеризуются повышенным износом и образованием абразивной пыли. Рекомендации по применению этих борфрез:

1) диаметр борфрезы должен составлять 75...80 % диаметра отверстия;

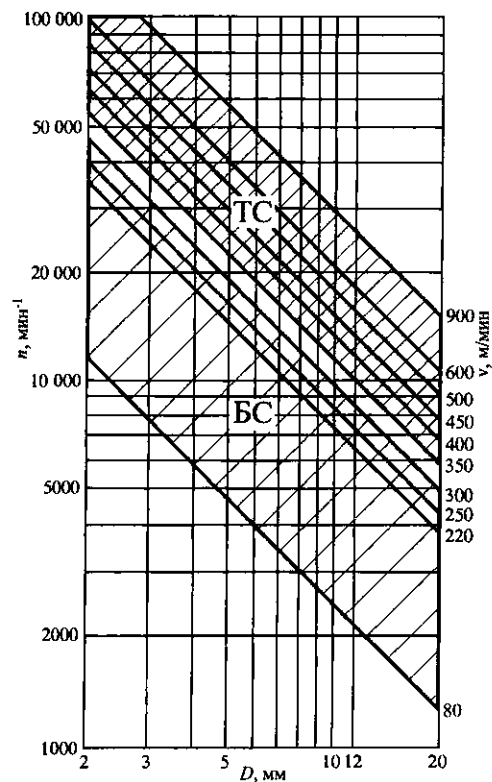


Рис. 2. Номограмма для определения режима обработки борфрезой

- 2) обрабатываемые материалы имеют твердость до 50 HRC;
- 3) целесообразно обрабатывать отверстия диаметром до 12 мм;
- 4) необходимо обеспечить жесткость шпинделя и точность его хода;
- 5) рекомендуемые скорости подачи 100... 200 м/мин для мягких материалов и 50... 100 м/мин – для твердых.

Цельные твердосплавные борфрезы применяют для обрезки и контурного фрезерования широкого спектра армированных волокном стеклопластиков (CFK) и углепластиков (GFK). Специальная геометрия режущей кромки обеспечивает большую скорость подачи за счет низких усилий резания. Такие борфрезы behave как без режущей кромки на торце, так и с режущей кромкой.

### БОРФРЕЗЫ ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ

Борфрезы из быстрорежущей стали в отличие от твердосплавных борфрез работают при более низких частотах вращения. Такая ситуация возникает, когда отсутствует возможность применения высокооборотного оборудования. Кроме того, борфрезы из быстрорежущей стали применяют как альтернативу твердосплавным борфрезам для обработки мягких материалов. Необходимо учитывать влияние вязкости быстрорежущей стали оказывает влияние на стабильность режущей части зуба. Борфрезы из быстрорежущих сталей (PFERD) имеют следующие формы зуба:

– Alu – наиболее крупные зубья для грубой обработки алюминиевых, медных и цинковых сплавов, а также полимерных композиционных материалов;

– 1 – форма с крупными зубьями без стружколомных канавок;

– 2 – средние по размеру зубья с частыми стружколомными канавками;

– 3 – то же, что и форма 2, но с редкими стружколомными канавками;

– 5 – мелкие зубья без стружколомных канавок.

Условия обработки борфрезами из быстрорежущей стали приведены в табл. 27, а их стандартизованные в соответствии с ИСО формы – в табл. 28.

### 27. Рекомендуемые условия обработки борфрезами из быстрорежущей стали

Обрабатываемый материал		Вид обработки	Форма зуба	Скорость резания, м/мин	
Сталь, литейная сталь	Незакаленные, обычные стали $\sigma_b$ до 1,2 ГПа (HRC < 35)	Конструкционная, нелегированная, углеродистая, инструментальная сталь, стальное литье	Грубая (большой сьем)	2, 3	60...80
			Тонкая	3	80...100
	5	60...80			
	Коррозионно-стойкие и кислотостойкие стали	Аустенитные и ферритные высококачественные стали	Грубая (большой сьем)	1	60...80
Тонкая				1	80...100
			2	60...80	

Окончание табл. 27

Обрабатываемый материал			Вид обработки	Форма зуба	Скорость резания, м/мин
Цветные металлы	Мягкие цветные металлы	Алюминиевые сплавы, латунь, медь, цинк	Грубая (большой съем)	Alu, 1	20...300
			Тонкая	2	200...250
Чугуны	Серый чугун	Чугун со сферическим графитом	Грубая (большой съем)	2,3	60...80
			Тонкая	3, 5	80...100
Прочие материалы	Пластмассы и резина	Армированные волокном (стекловолокном) термопласты и реактопласты, твердая резина	Грубая (большой съем)	Alu, 1	200...300
				1	250...300
			Тонкая	2	200...250

## 28. Характеристики борфрез из быстрорежущей стали, мм

Форма, описание	$d_1 \times l_2$ (угол конуса, °) Форма зуба	$d_2$	$l_1$
А, цилиндрическая с торцовыми зубьями	$6,0 \times 10; 7,0 \times 10$ специальный зуб	3	40
	$10 \times 13$ 1, 2, 3	6	53
	$3,0 \times 4,5; 6,0 \times 1,5$ специальный зуб <sup>*1</sup>		60
	$\frac{4 \times 13; 8 \times 20; 10 \times 20}{3}; \frac{6 \times 16}{1, 2, 3, 5}$		65
	$\frac{12 \times 25}{1, 2, 3, 5}; \frac{6 \times 25}{Alu^{*2} 2, 3, 5}$		
В, сферэллиптическая	$3,0 \times 4,5$ специальный зуб <sup>*1</sup>	6	60
	$8,0 \times 11$ специальный зуб	3	41
	$7,0 \times 12$ специальный зуб		42
	$\frac{8 \times 20}{3}$	6	60
	$\frac{12 \times 30}{3}$		70
	$\frac{16 \times 35}{3}$		75
С, цилиндросферическая	$\frac{10 \times 20}{3}$	6	53
	$3,0 \times 4,5$ специальный зуб <sup>*1</sup>		60
	$\frac{4 \times 13; 8 \times 20; 10 \times 20}{3}; \frac{6 \times 16}{1, 2, 3}$		
	$\frac{12 \times 25}{1, 2, 3}; \frac{16 \times 25}{Alu, 3}$		65



Продолжение табл. 28

Форма, описание	$d_1 \times l_2$ (угол конуса, °) Форма зуба	$d_2$	$l_1$
Н, грибовидная	$\frac{6 \times 18; 8 \times 20; 10 \times 20}{3}$	6	60
	$\frac{12 \times 25}{3}$		65
	$\frac{16 \times 30}{3}$		70
К, снарядная	$\frac{6 \times 18}{1, 2, 3, 5}; \frac{10 \times 20}{3}$	6	60
	$\frac{12 \times 25}{1, 2, 3, 5}$		65
	$\frac{12 \times 30}{1, 2, 3, 5}; \frac{16 \times 30}{Alu, 2, 3}$		70
Л, сфероконическая	$\frac{7,0 \times 10,0 (22); 2^{*3}}{\text{специальный зуб}}$	3	40
	$\frac{6 \times 10}{3}$	6	55
	$\frac{10 \times 16}{3}$		56
	$\frac{3,0 \times 4,5}{\text{специальный зуб}^{*1}}; \frac{8 \times 13}{3}; \frac{12 \times 20; 10 \times 20(14)}{1, 2, 3}$		60
	$\frac{12 \times 25(14)}{3}; \frac{16 \times 25}{Alu, 2, 3}$		65
	$\frac{12 \times 30(14)}{3}; \frac{16 \times 30}{Alu, 2, 3}$		70
Ф, сферическая	$\frac{1,6}{\text{специальный зуб}}$	3	31,6
	$\frac{2,3}{\text{специальный зуб}}$		32,3
	$\frac{3,2}{\text{специальный зуб}}$		33,2
	$\frac{4,0}{\text{специальный зуб}}$		34,0
	$\frac{5,0}{\text{специальный зуб}}$		35,0
	$\frac{6,0}{\text{специальный зуб}}$		36,0
	$\frac{7,0}{\text{специальный зуб}}$		37,0
	$\frac{8,0}{\text{специальный зуб}}$		38,0
	$\frac{10 \times 9,0}{2, 3}$		49

Продолжение табл. 28

Форма, описание	$d_1 \times l_2$ (угол конуса, °) Форма зуба	$d_2$	$l_1$	
F, сферическая	$12 \times 10,8$ 1, 2, 3, 5	3	51	
	$16 \times 14,3$ 1, 2, 3		54	
	$4 \times 3,6$ ; $6 \times 5,4$ ; $8 \times 7,0$ 1, 2, 3 ; 2, 3 ; 1, 2, 3, 5	6	55	
	$3,0 \times 2,7$ ; $6,0 \times 5,6$ специальный зуб <sup>*1</sup>		60	
G, острокониче- ская	$1,6 \times 2,8$ (32) специальный зуб	3	32,8	
	$2,3 \times 4,0$ (32) специальный зуб		34,0	
	$6,0 \times 4,2$ (71) специальный зуб		34,2	
	$8,0 \times 5,5$ (71) специальный зуб		35,5	
	$3,2 \times 5,6$ (32) специальный зуб		35,6	
	$4,0 \times 7,0$ (32) специальный зуб		37,0	
	$8,0 \times 8,0$ (73) специальный зуб		38,0	
	$5,0 \times 8,7$ (32) специальный зуб		38,7	
	$6,0 \times 10,5$ (32) специальный зуб		40,5	
	$7,0 \times 12,5$ (32) специальный зуб		42,5	
	$8,0 \times 14,0$ (32) специальный зуб		44,0	
	$3,0 \times 4,5$ (34); $6,0 \times 7,8$ (39) ; $6 \times 18$ (14); $10 \times 20$ (28) специальный зуб <sup>*2</sup> ; 1, 2, 3, 5		6	60
	$12 \times 25$ (27) 1, 2, 3, 5			65
	W, угловая	$7,0 \times 7,5$ (15) специальный зуб	3	37,5
$7,0 \times 8,0$ (7) специальный зуб		38,0		
$12 \times 13$ (20) 3		6	53	
N, дисковая	$8,0 \times 2,0$ ; $9,5$ <sup>*4</sup> специальный зуб	3	32,0	
	$8,0 \times 2,0$ ; $1,1$ <sup>*3</sup> специальный зуб			
	$10,0 \times 2,5$ ; $11,5$ <sup>*4</sup> специальный зуб		32,5	
	$10,0 \times 2,3$ ; $1,25$ <sup>*3</sup> специальный зуб			

Окончание табл. 28

Форма, описание	$d_1 \times l_2$ (угол конуса, °) Форма зуба	$d_2$	$l_1$
N, дисковая	$12,0 \times 2,6; 1,4^{*3}$ специальный зуб	3	32,6
	$12,0 \times 3,0; 1,4^{*4}; 14,0 \times 3,0; 1,6^{*3}$ специальный зуб		33,0
	$14,0 \times 3,5; 15,5^{*4}$ специальный зуб		33,5

\*<sup>1</sup> Борфрезы для гравирования.\*<sup>2</sup> Без торцовых зубьев.\*<sup>3</sup> Радиус скругления, мм.\*<sup>4</sup> Радиус ограничивающих поверхностей при линзообразной форме.

Взаимное влияние обрабатываемого материала (инструмента) и обработки борфрезой показано в табл. 29.

### 29. Выбор условий обработки борфрезами

Дано	Выбор
<b>Первый шаг – выбор инструмента (борфрезы)</b>	
<i>Характер обрабатываемой поверхности</i>	<i>Форма зуба и скорость резания</i>
Обработка кромки	Без стружколомной канавки, высокая скорость резания
Обработка поверхности	Со стружколомной канавкой, средняя скорость резания
<i>Требования к обработке</i>	<i>Форма зуба</i>
Высокое качество обработанной поверхности	тонкая без стружколомных канавок
Высокая скорость съема материала, низкое качество обработанной поверхности	грубая со стружколомными канавками
<i>Обрабатываемый материал</i>	<i>Материал инструмента, форма зуба и передний угол</i>
мягкий	Быстрорежущая или инструментальная сталь
твердый	Твердый сплав, тонкая форма зуба (мелкие канавки)
прочный	Режущие кромки со стружколомными канавками
склонный к засаливанию	Крупные канавки и положительный передний угол
дающий элементную стружку или стружку надлома	Отрицательный передний угол
дающий сливную стружку	Положительный передний угол
<b>Второй шаг – выбор привода (пневматической машины)</b>	
<i>Форма зуба и диаметр борфрезы</i>	<i>Частота вращения шпинделя пневматической машины</i>
грубая	высокая
тонкая	низкая (кроме обработки кромок)
диаметр борфрезы 3 мм	очень высокая
<i>Угол наклона канавки зуба</i>	<i>Мощность привода и особенности обработки</i>
Малый угол наклона спиральной канавки	Высокая мощность (большая сила резания)
Большой угол наклона спиральной канавки	Низкая мощность (малая сила резания, равномерное резание, эффективное удаление стружки)

## ОБРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИМИ ЩЕТКАМИ

### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Технические щетки — это вращающиеся инструменты универсального применения для очистки поверхностей и для снятия заусенцев на всех материалах. В зависимости от требований к обработке применяют четыре вида материалов ворса:

- 1) стальная проволока;
- 2) проволока из коррозионно-стойкой стали (INOX);
- 3) латунная проволока;
- 4) волокна из наполненных абразивом полимерных материалов.

Основные области применения технических щеток:

— удаление заусенцев, образовавшихся в процессе фрезерования, шлифования, точения и сверления;

— очистка поверхностей, а именно: снятие окислы, ржавчины; очистка, зачистка; очистка от лаков; обработка сварных швов;

— отделка поверхности: матирование, сатинирование; нанесение шероховатости; структурирование; шлифование (щетки с содержанием абразива).

Преимущества использования технических щеток проявляются при выполнении следующих условий:

- применение качественных специальных проволок с высокой эластичностью и прочностью на изгиб;
- равномерное распределение ворса;
- правильное соотношение длины ворса и диаметра проволоки;
- оптимальность соотношения цены и качества.

Рекомендации по технологическим особенностям и областям применения технических щеток приведены в табл. 30 и 31.

30. Рекомендуемые области применения технических щеток

Обрабатываемый материал	Достоинства и характеристика	Исполнение	Область применения
<i>Стальная проволока</i>			
Конструкционная сталь	Вязкость, высокая прочность	Неплетеная, гофрированная	Легкая обработка поверхности. Для снятия ржавчины, лаков, окислы и изолирующих материалов. Удаление заусенцев на контурных поверхностях и трубах
Углеродистая сталь	Высокая стойкость		
Легированная сталь	Возможны высокие частоты вращения		
Нелегированная сталь	Универсальное применение	Плетеная	В местах агрессивной обработки поверхности. Обработка сварных швов. Удаление ржавчины, окислы, шлаков
Пластмасса	Длительный срок службы	Гофрированная, связанная пластмассой	
<i>INOX-проволока из коррозионно-стойкой стали</i>			
Коррозионно-стойкие и кислотостойкие стали	Устойчивость к коррозии. Выдерживает высокую температурную нагрузку. Отсутствие коррозийных остатков	Неплетеная, гофрированная	Легкая обработка поверхности. Для снятия ржавчины, лаков, окислы и изолирующих материалов. Удаление заусенцев на контурных поверхностях и трубах
Алюминий и алюминиевые сплавы. Цветные металлы	Рекомендуются низкие частоты вращения в отличие от стальной проволоки	Плетеная	

Окончание табл. 30

Обрабатываемый материал	Достоинства и характеристика	Исполнение	Область применения
<i>Латунная проволока</i>			
Латушь	Не искрит при работе	Неплетеная, гофрированная	Легкая обработка поверхности. Для снятия ржавчины, лаков, окалины и изолирующих материалов на цветных металлах. Для очистки мест спайки. Структурирование и очистка поверхностей цветных металлов
Медь	Чрезвычайная гибкость		
Цветные металлы	Высокое качество обработки алюминиевых сплавов		

*Наполненные абразивом полимеры*

Цветные металлы	Шлифует абразивное зерно	Гофрированная	Снятие заусенцев, очистка и шлифование поверхности. Матирование, сатинирование, нанесение структуры на поверхность. Благодаря эластичности возможна обработка труднодоступных мест
Дерево	Полимер изнашивается, вскрывая новые зерна		
Пластмассы	Высокая эластичность и гибкость		
Сталь	Однородно шлифует все марки		
Стальное литье	Материал термочувствителен — рекомендуется обработка с маслом		

**31. Рекомендации по выбору механических вращающихся щеток**

Материал ворса	Характеристика щетки, особенность применения	Максимально достигаемый параметр шероховатости $Ra$ , мкм	Назначение (по степени целесообразности применения)
Натуральный волос, пенка	Мягкая. Применяется с полирующими составами	0,01...0,16	Полирование металлических и окрашенных поверхностей, сглаживание поверхности, удаление небольшой окалины
Корд, хлопчатобумажная пряжа, натуральная и синтетическая щетины, фибра	Мягкая или средней степени гибкости и различной плотности. Применяется с полирующими составами и без них	0,04...0,32	Полирование металлических поверхностей, удаление мелких заусенцев, небольшой окалины и пленок, сглаживание поверхностей, скругление кромок, легкая очистка

Окончание табл. 31

Материал ворса	Характеристика щетки, особенность применения	Максимально достигаемый параметр шероховатости $Ra$ , мкм	Назначение (по степени целесообразности применения)
Токая проволока: стальная, латунная, бронзовая, мельхиоровая, медная, нейзильберовая (диаметр ворсинок не более 0,2 мм)	Малой, средней, или большой плотности; степень гибкости высокая. Применяется с полирующими составами	0,08...0,63	Удаление заусениц небольшой и средней величины, небольших пленок и небольшой окалины, скругление кромок, легкая очистка, шлифование и полирование
Проволока из различных металлов (преимущественно стальная) диаметром ворса более 0,2 мм прямая или гофрированная	Средней и большой плотности, средней и малой степени гибкости, широкозахватные для широкого круга работ  Узкая, средней плотности и средней степени гибкости. Применяется при необходимости обработки контурных поверхностей, обеспечивает облегание контура деталей.	1,25...2,5  2,5...5	Удаление заусениц средней и большой величины, скругление кромок, удаление окалины и продуктов коррозии, сатирование, сглаживание поверхности, очистка деталей  Очистка деталей, удаление окалины и продуктов коррозии, сглаживание поверхности, сатирование, удаление заусениц
То же, что и в предыдущем случае, но с проволокой, свитой в жгут	Узкая (секционная), малой плотности, гибкая. Применяется там, где требуется значительное ударное воздействие на обрабатываемую поверхность	5...10	Удаление большой окалины, очистка литья, удаление продуктов коррозии, удаление заусениц с весьма твердых металлов, скругление кромок

Рекомендуемый диапазон окружной скорости технических щеток зависит от соответствующего применения и, как правило, лежит ниже максимально допустимой для данной щетки окружной скорости. При назначении окружной скорости добиваются оптимального

результата по эффективности обработки, износу и цене щетки. Для кистевых щеток рекомендуется диапазон 5...10 м/с; для чашечных щеток – 25...35 м/с. Режим обработки техническими щетками выбирают по номограмме, приведенной на рис. 3.

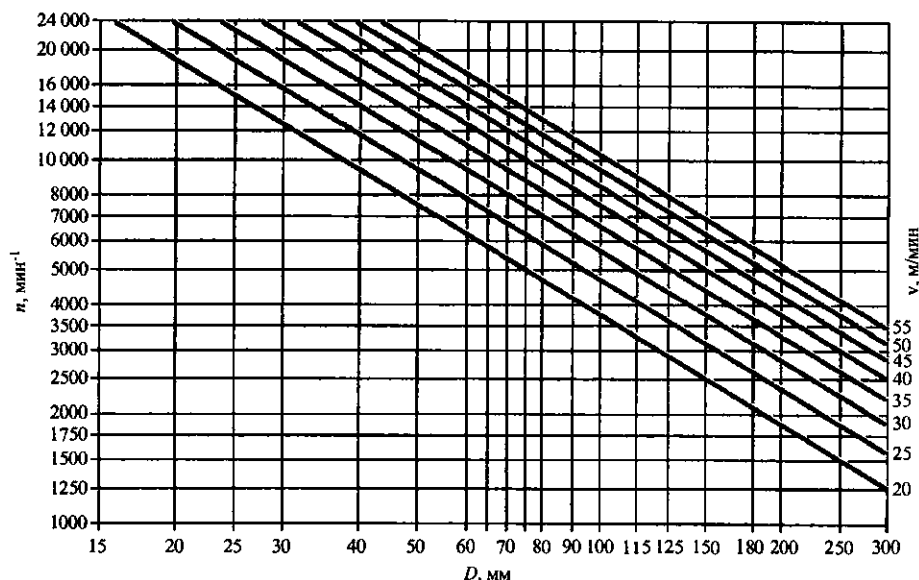


Рис. 3. Номограмма для определения режима обработки технической щеткой

### ОСНОВНЫЕ ФОРМЫ ЩЕТОК

Основные формы технических щеток и их характеристики (PFERD) в соответствии с DIN EN 1083 приведены в табл. 32 – 36.

#### 32. Характеристики технических дисковых щеток с хвостовиком, мм

Эскиз	Размеры щетки			Размеры проволоки		Допускаемая частота вращения, мин <sup>-1</sup>	
	$d_o$	$b$	$L$	Диаметр	Длина по прямой		
	<b>Неплетеные щетки</b>						
	<i>Стальная проволока, проволока из коррозионно-стойкой стали, латунная проволока</i>						
	20,0	4,0	37,0	0,2	3,0	20 000	
	30,0	6,0	40,0		6,5		
	40,0	9,0	46,0		9,0	18 000	
	50,0	15,0	50,0	0,3	12,5	15 000	
	70,0				19,0	12 000	
	80,0	<i>Полимерная леска с абразивом (карбид кремния, зерно 180 по FEPA)</i>					
	50,0	15,0	50,0	0,9	12,5	15 000	
	70,0				19,0		
	80,0				19,0	12 000	
	<b>Плетеные щетки</b>						
<i>Стальная проволока, проволока из коррозионно-стойкой стали</i>							
76,0	6,0	42,0	0,3; 0,5	16,0	25 000		
100,0				19,0	20 000		
<b>Щетки, опрессованные полимерным материалом</b>							
<i>Стальная проволока</i>							
63,0	7,0	40,0	0,3	20,0	15 000		

33. Характеристики технических дисковых щеток с отверстием, мм

Эскиз	Размеры щетки			Размеры проволоки		Допускае- мал частота вращения, мин <sup>-1</sup>
	$d_a$	$b$	$d_i$	Диаметр (зерно по FEPA)	Длина по прямой	
	<b>Неплетеные щетки</b>					
	<i>Стальная проволока</i>					
	100,0	28,0	14,0	0,30	24,0	8000
	150,0	12,0	22,2	0,75	28,0	6000
		20,0	51,0	0,35	22,0	
		38,0	22,2	0,30	25,0	
	200,0	16,0	22,2	0,25	44,0	4500
		20,0	51,0	0,35	25,0	
	250,0	38,0	22,2	0,30	38,0	3600
		20,0		0,25	70,0	
	300,0	48,0	25,4	0,30	50,0	3000
		20,0		0,25	75,0	
	<i>Проволока из коррозионно-стойкой стали</i>					
	150,0	38,0	22,2	0,30	25,0	6000
	200,0				38,0	4500
	250,0	48,0			50,0	3600
	<i>Полимерная леска с абразивом (карбид кремния)</i>					
	100,0	12,0	12,0	0,90 (180)	22,0	8000
	150,0	16,0			28,0	6000
	200,0		22,2	32,0	4500	
	250,0			38,0	3600	
<b>Плетеные щетки</b>						
<i>Стальная проволока, проволока из коррозионно-стойкой стали</i>						
125,0	6,0	M14	0,50	19,0	15 000	
150,0				30,0	10 000	
178,0				28,0	9000	
115,0	12,0	22,2		28,0	12 500	
125,0				19,0	15 000	
178,0				42,0	9000	



## 34. Характеристики технических чашечных щеток, мм

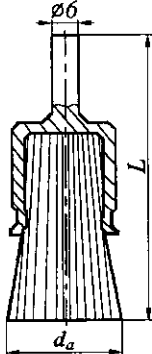
Эскиз	Размеры щетки			Размеры проволоки		Допускаемая частота вращения, мин <sup>-1</sup>
	$d_a$	$W(L)$	$d_i(d_s)$	Диаметр (зерно по FEPA)	Длина по прямой	
	<b>Неплетеные щетки</b>					
	<i>Стальная проволока</i>					
	50,0	10,0 (75,0)	(6,0)	0,30	20,0	10 500
	60,0	15,0 (85,0)	M14			8000
	<i>Стальная проволока, проволока из коррозионно-стойкой стали</i>					
	75,0	—	M14	0,30	40,0	12 500
	100,0	—	M14	—	25,0	8500
	<i>Полимерная леска с абразивом (карбид кремния)</i>					
	50,0	10,0 (75,0)	(6,0)	0,90 (180)	20,0	10 500
	60,0	15,0 (85,0)	M14	0,30 (180)		8000
100,0	—	M14		0,90 (120; 180)	46,0	6000
<b>Плетеные щетки</b>						
<i>Стальная проволока, проволока из коррозионно-стойкой стали</i>						
65,0	—	M14	0,35	20,0	12 500	
80,0			0,50 (0,35*)			
100,0				25,0	8500	

\* Только для проволоки из коррозионно-стойкой стали.

## 35. Характеристики тарельчатых щеток с резьбовым отверстием, мм

Эскиз	Размеры щетки		Размеры проволоки		Допускаемая частота вращения, мин <sup>-1</sup>
	$d_a$	$b$	Диаметр	Длина ворса	
	<b>Неплетеные щетки</b>				
	<i>Стальная проволока, проволока из коррозионно-стойкой стали</i>				
	100,0	10,0	0,35	22,0	12 500
	<b>Плетеные щетки</b>				
	<i>Стальная проволока, проволока из коррозионно-стойкой стали</i>				
	100,0	13,0	035 (INOX-0,50)	22,0	20 000
115,0	15,0	26,0		15 000	
125,0		19,0			

36. Характеристики кистевых щеток с хвостовиком, мм

Эскиз	Размеры щетки		Размеры проволоки		Допускаемая частота вращения, мин <sup>-1</sup>		
	$d_a$	$b$	Диаметр	Длина ворса			
	<b>Неплетеные щетки</b>						
	<i>Стальная проволока / проволока из коррозионно-стойкой стали / латунная проволока</i>						
	12,0	65,0; 70,0	<u>0,20; 0,35</u> <u>0,20; 0,35</u> 0,30	20,0	20 000		
	15,0	65,0	<u>0,20; 0,40</u> <u>0,20; 0,40</u> 0,40	22,0	18 000		
	19,0	70,0	<u>0,20; 0,35</u> 0,20	25,0	12 500		
	20,0		<u>0,20; 0,50</u> <u>0,20; 0,50</u> 0,50		18 000		
	25,0		<u>0,20; 0,35</u> 0,20		12 500		
	30,0		<u>0,20; 0,50</u> <u>0,20; 0,50</u> 0,50		15 000		
	<i>Полимерная леска с абразивом (карбид кремния зерно 180 по FEPA)</i>						
	12,0		65,0		0,90	20,0	20 000
	15,0	22,0		18 000			
	20,0	70,0		25,0		15 000	
	30,0						
	<b>Плетеные щетки</b>						
	<i>Стальная проволока / проволока из коррозионно-стойкой стали</i>						
19,0	68,0	<u>0,35; 0,50</u>	28,0	20 000			
25,0		<u>0,35; 0,60</u>	25,0				
<b>Щетка с опрессованной резиной</b>							
<i>Стальная проволока</i>							
22,0	70,0	0,30	30,0	15 000			
30,0		0,35	25,0	13 000			

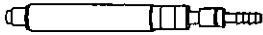
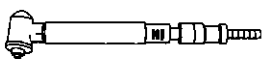

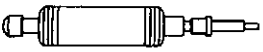
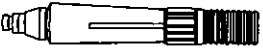
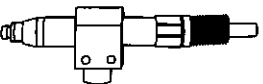
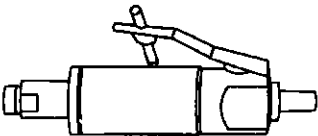
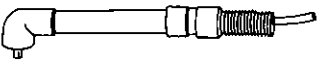


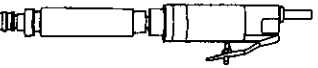
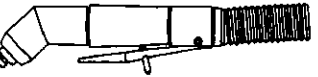
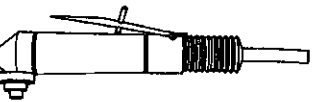
**ПРИВОДНЫЕ УСТРОЙСТВА  
ДЛЯ ИНСТРУМЕНТОВ**

Для подбора приводного устройства с требуемыми характеристиками в табл. 37 приведена номенклатура пневматических машин производства фирмы PFERD.

В табл. 38 приведены разновидности пневматических ленточно-шлифовальных машин производства фирмы Дайабрейд (США).

В табл. 39 приведены разновидности пневматических валковых машин производства фирмы Дайабрейд. Отличительной особенностью этих машин является то, что они комплектуются валками с надутыми резиновыми камерами цилиндрической формы, на которую насаживается бесконечная абразивная лента в форме кольца, диаметр которого равен диаметру камеры.

## 37. Технические характеристики пневматических машин для выполнения слесарных работ

Модель	Эскиз	Длина корпуса, мм / масса, кг	Исполнение клапана * <sup>1</sup>	Мощность, Вт	Частота вращения на холостом ходу, мин <sup>-1</sup>	
PG 1/800		153/0,18	3	75	80 000	
PWS 1/800						
PGT 3/700		165/0,36		П	220	70 000
PG 3/500 S						
PG 3/440		188/0,34	П	220	44 000	
PGZ 3/440						
PG 3/380 HV		188/0,31	Р		38 000	
PWS 1/250		180/0,25	3	75	25 000	
PG 3/250 S				225		
PG 5/230 DH		200/0,64	П-Р	370* <sup>2</sup>	23 000* <sup>2</sup>	
				340* <sup>3</sup>	18 000* <sup>3</sup>	
PG 8/220 V-HV		330/1,10	Р	600	22 000	
PWS 5/170-45 DH		230/0,88	П-Р	370* <sup>2</sup>	17 000* <sup>2</sup>	
				340* <sup>3</sup>	14 000* <sup>2</sup>	
PWS 5/160 DH		190/0,67		370* <sup>2</sup>	16 000	
				340* <sup>3</sup>	13 000* <sup>2</sup>	

\*<sup>1</sup> 3 – золотниковый; Р – рычажный; П – поворотный; П-Р – поворотно-рычажный.

\*<sup>2</sup> Работа с маслом.

\*<sup>3</sup> Работа без масла.

**38. Пневматические ленточно-шлифовальные машины**

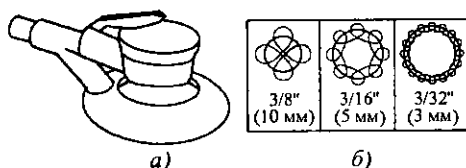
Модель	Мощность, кВт	Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	Размеры абразивной ленты (ширина × длина)	Длина	Высота	Масса, кг
			мм			
15003	0,298	25 000	3...13 × 305	298	89	0,8
40381	0,321	5000	6... 13 × 457...610	394	146	1,2
11000	0,373	20 000	3...13 × 610	381	102	1,4
40320			6...19 × 457...610	362	124	1,1
40335			25 × 457	279	127	2,2
14200				362	124	1,1
15300	0,522	13 000	6...25 × 762	533	184	3,6
11476	0,895		25 × 762	559	178	4,1
11486			51 × 864	480	216	6,9
14300			51 × 762	508	229	8,2
11450	1,491	7200	25...51 × 762	546	197	6,4
11477	1,492		51 × 864	480	243	7,9
14302	1,79	13 000	51 × 1143	581	241	8,7
14306						

**39. Пневматические валковые машины**

Модель	Мощность, кВт	Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	Размеры надувной резиновой камеры (диаметр × длина)	Длина	Высота	Масса, кг
			мм			
13300	0,298	3200	83 × 76	254	178	1,3
13301		980				1,5
58050		3200	83 × 178	452	83	2,3
13400	0,522	3400	100 × 89	343	229	2,0
50730	0,895	500...3000	127 × 102	432	241	4,8

Для отделочной обработки поверхностей применяют пневматические машины с планетарным движением инструмента (рис. 4, а), которые характеризуются различными формами траекторий движения инструмента (рис. 4, б).

Траектории с двойным эксцентриситетом 10 мм применяют для интенсивного удаления обрабатываемого материала; 5 мм – для большинства случаев отделочной обработки; 3 мм – для наиболее тонкой обработки.



**Рис. 4.** Внешний вид планетарной пневматической машины (а) и траектории движения инструмента (б)

## 40. Технические характеристики пневматических планетарных машин

Модель	Мощность, кВт	Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	Диаметр инструмента	Эксцентриситет	Длина	Высота	Масса, кг
58100	0,186	12 000	89	5	152	92	0,8
58200				10			
58300				3			
58115			127	5	165	89	0,9
58215				10			
58315				3			
58126			152	5	178	86	0,9
58226				10			
58326				3			

## 41. Пневматические машины с возвратно-поступательным движением инструмента

Модель	Мощность, кВт	Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	Размеры инструмента (длина × ширина) / двойная амплитуда	Длина	Высота	Масса, кг
12203	0,298	2400	140×16/10	254	38	1,1
12250	0,142	5000	6×3/6	170	106	0,82
57814	0,179	10 000	229×93/2,5	184	108	1,2

Технические характеристики пневматических планетарных машин производства фирмы Дайнабренд приведены в табл. 40.

Некоторые разновидности пневматических машин с возвратно-поступательным движением инструмента приведены в табл. 41.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Большаков И.С., Сергеев М.А. Справочник слесаря. Л.: Лениздат, 1974. 376 с.
2. Владимиров В.М. Изготовление штампов, пресс-форм и приспособлений. М.: Высш. шк., 1974. 431 с.

3. Дешевой Г.М., Мирошнченко Б.Я., Ласточкин С.В. Справочник разметчика машиностроителя. Л.: Машгиз, 1962. 376 с.

4. Малевский Н.П., Мещеряков Р.К., Полтавец О.Ф. Слесарь-инструментальщик. М.: Высш. шк., 2000. 304 с.

5. Малов А.Н. Слесарные работы / Под ред. М.П. Новикова и П.Н. Орлова. М.: Машиностроение, 1977. (Справочник металлста: В 5 т. Т. 4).

6. Серебряницкий П.П. Обработка деталей механическими щетками. Л.: Лениздат, 1967. 85 с.

## СМАЗЫВАЮЩЕ-ОХЛАЖДАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДЫ

### ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА

*Технологической средой* при резании называют вещество, с которым контактируют поверхности режущего лезвия инструмента, стружки и обрабатываемой заготовки в районе зоны резания. Применение СОТС позволяет повысить стойкость инструмента в 1,5...10 раз, производительность труда в 1,1...3 раза, увеличить параметры режима резания на 20...60 %, улучшить качество и эксплуатационные свойства обработанных поверхностей и улучшить санитарно-гигиенические условия труда.

Основными целями применения СОТС являются улучшение качества детали, повышение экономических показателей выполнения операций и улучшение условий труда. Эффект применения СОТС достигается за счет воздействия следующих действий технологической среды на инструмент и деталь (функциональных свойств СОТС): смазывающего действия и пассивации ювенильной поверхности; охлаждающего, режущего, пластифицирующего и диспергирующего действия; моющего и защитного действия.

**Смазывающее действие** состоит в уменьшении силы трения (снижение коэффициентов трения) между поверхностями инструмента, стружки и детали. Это достигается путем разделения контактирующих поверхностей смазочными пленками. При этом происходит перевод трения между поверхностями детали и инструмента в трение между пленкой и поверхностью или в трение между слоями пленки. Различают следующие виды смазки: гидродинамическую, граничную смазку и смазку высокого давления.

При *гидродинамической смазке* снижение силы трения происходит за счет разделения трущихся поверхностей жидкой пленкой. Сопротивление сдвигу жидкостной пленки очень мало. Однако прочность этой пленки и ее сцепление с поверхностью низки. В зоне резания гидродинамическая смазка играет незначительную роль. Но она действует в областях упругого и упругопластического контакта и может играть существенную роль, например, в

снижении сил трения по ленточкам осевых инструментов. При гидродинамической смазке закономерности трения в основном определяются свойствами смазочного вещества, а не поверхностей, между которыми происходит трение.

При *граничной смазке* трение зависит не только от свойств смазочного вещества, но и от свойств трущихся металлических поверхностей. Смазочное вещество возникает в процессе резания при взаимодействии поверхности с внешней средой – граничная смазка происходит при возникновении пленки, адсорбционно связанной с трущейся поверхностью. Ее сопротивление сдвигу выше, чем для жидких пленок, но выше и ее устойчивость к неблагоприятным условиям. Такая пленка выдерживает большие нормальные нагрузки, но слабо сопротивляется касательным и быстро истирается.

Различают физически и химически адсорбированные пленки. Физически адсорбированные пленки удерживаются на поверхности слабыми электростатическими силами, а химически адсорбированные – химическими связями, которые намного прочнее физических.

*Смазка высокого давления* возникает, когда активные элементы среды (хлор, фтор, сера, кислород, йод) вступают в химическое взаимодействие с материалом и образуют на поверхности металла химические пленки (окислы, сульфиды, хлориды, фосфаты и др.). Резкой грани между химической адсорбцией (хемосорбцией) и химическими соединениями провести невозможно, различие заключается в том, что хемосорбция обратимый процесс, а образование смазочной пленки высокого давления – нет.

Смазывающее действие СОТС определяется свойствами образующихся смазочных пленок, которые, в свою очередь, зависят от технологических особенностей операции (вида станочных операций, скорости резания, свойств обрабатываемого и инструментального материалов, возможностей подвода СОТС к зоне резания). Управление процессом образования смазочных пленок может вестись через изменение типа СОТС, концентрации активно-

го компонента, температуры среды, давления, способа подвода (направленности) и количества подаваемой СОТС.

**Охлаждающее действие** СОТС позволяет снизить температуру инструмента и детали и тем самым уменьшить изнашивание режущего инструмента и повысить точность и качество изготовления детали.

Охлаждение поверхностей стружки может оказывать влияние на температуру резания только при очень тонких стружках и малых скоростях резания, когда "холод" от стока тепла успевает проинкинуть до контактной поверхности. Снижения температуры контактных поверхностей инструмента в большинстве случаев нельзя добиться охлаждением наружной поверхности изделия, так как нагрев детали мал. Для снижения температуры на изнашиваемых поверхностях инструмента надо обеспечить возможно более интенсивное и непосредственное охлаждение инструмента, а не стружки или детали. Пути активизации теплоотвода от поверхностей инструмента представлены на рис. 1.

**Моющее действие** СОТС состоит в обеспечении непрерывной эвакуации из зоны обработки отходов функционирования системы резания – продуктов износа инструмента, мелкой стружки, карбидов, выломанных из структуры обрабатываемого материала, и др. При шлифовании моющее действие заключается в предотвращении налипания и обволакивания абразивного материала и связки круга, в очистке связки круга при его засаливании. Моющее действие СОТС позволяет избежать: повышенного изнашивания и поломки инструмента (что характерно для таких операций, как резьбонарезание, развертывание, сверление и др.) и порчи обработанной поверхности (что характерно для финишных операций резания).

Для осуществления моющего действия технологическая среда должна иметь следующие свойства:

1) высокую поверхностную активность (низкое поверхностное натяжение на поверхностях раздела), что обеспечивает улучшение смачиваемости твердых частиц;

2) способность создавать вокруг частицы достаточно упругую и прочную оболочку, обеспечивающую отделение частиц от твердых поверхностей и создание устойчивой суспензии.

Эффективность моющего действия зависит от состава шлама, метода обработки, мик-

рогеометрии поверхности, материалов инструмента и детали, дисперсности частиц, скорости движения и температуры жидкости и др.

Под **режущим и пластифицирующим действием** СОТС понимают способность технологической среды облегчать пластическое деформирование обрабатываемого материала и разрыв связей в нем при выдирании инструмента. Это действие позволяет обрабатывать с высокой производительностью труднообрабатываемые материалы и приводит к: 1) повышению стойкости инструмента и облегчению процесса резания; 2) снижению избыточной деформации стружки и изделия (облегчается развитие пластической деформации в зоне стружкообразования); 3) уменьшению сопротивления сдвигу или пластической деформации выступающих микронеровностей на поверхности контактирующих тел за счет локализации пластической деформации в тонком поверхностном слое обрабатываемого материала, выполняющего роль смазочного материала; 4) уменьшению налипания обрабатываемого материала на инструмент.

В основе проявления пластифицирующего и режущего действия СОТС находятся следующие механизмы.

1. Расклинивающий механизм: проникая в микротрещины, которые создаются в процессе пластического деформирования металла, среда создает расклинивающее давление в ней и образует пленки на стенках трещины, которые затрудняют ее сваривание.

2. Внедренческий механизм: внедрение отдельных атомов среды (например, азота, кислорода, водорода) в кристаллическую решетку наиболее сильно деформированных зерен обрабатываемого металла приводит к упрочнению последнего и переходу его в хрупкое состояние. При этом уменьшаются предельная пластическая деформация перед разрушением и удельная работа резания.

3. Механизм понижения свободной энергии. В основе этого механизма лежит эффект Ребиндера, представляющий собой изменение механических свойств твердых тел при снижении их поверхностной энергии под влиянием физико-химических процессов.

Эффект Ребиндера связан с многочисленными физико-химическими факторами и может проявляться в различной степени и формах – от облегчения пластического деформирования до значительного понижения прочности, приводящего к возникновению хрупкости, вплоть

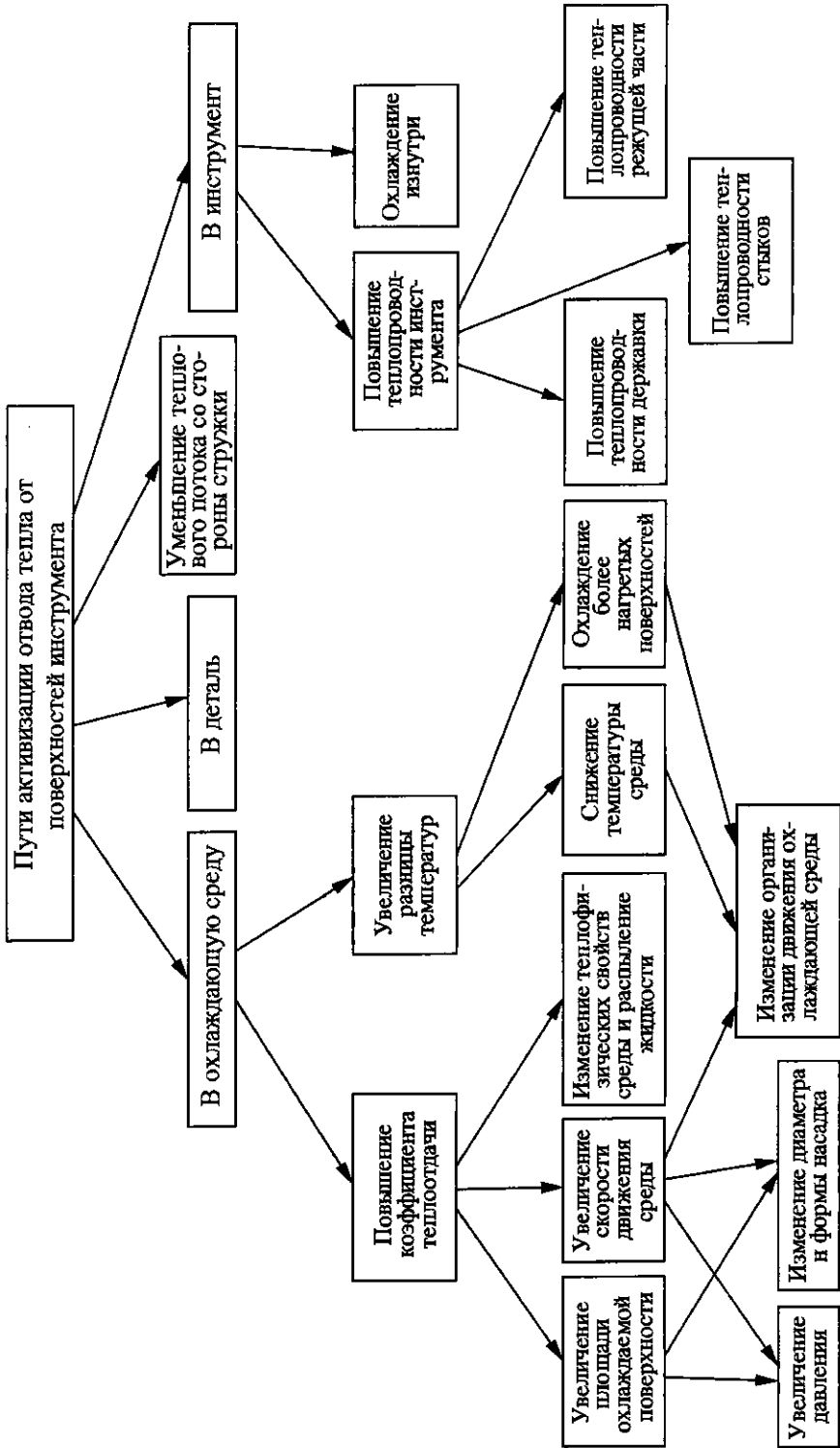


Рис. 1. Пути активизации теплоотвода от режущих кромок инструмента



до самопроизвольного диспергирования и частицы коллоидных размеров. Уменьшение поверхностной энергии твердого тела, приводящее к изменению его механических свойств, может быть достигнуто различными путями, наиболее эффективным из которых является смачивание поверхности заготовки родственными ей по физико-химической природе жидкостями – расплавами легкоплавких металлов.

**Защитное действие СОТС** можно рассматривать с двух сторон: как защиту детали от воздействия окружающей среды и как защиту инструмента от окислительного (химического) изнашивания.

**Защита детали.** Химически чистая обработанная поверхность быстро адсорбирует молекулы среды, вследствие чего может снижаться качество поверхности детали. Защитное действие СОТС препятствует этому и эффективно проявляется при применении газобразных сред. Для осуществления защитного действия могут использоваться как инертные газы (например, аргон), так и специальные газовые среды, улучшающие какие-то свойства обработанной детали.

**Защита инструмента.** СОТС способна предотвратить проникновение окислителей к поверхностям инструмента, что уменьшает окислительное изнашивание.

СОТС обладают рядом свойств, которые влияют на эффективность их применения, усиливают или ослабляют действия СОТС. К таким свойствам относят **смачивающее и проникающее свойства СОТС.**

**Смачивающее свойство.** Смачивание жидкостью поверхности зависит от материала твердого тела, микрогеометрии поверхности, химического состава и строения жидкости. Степень смачивания оценивается по поверхностному натяжению жидкости, краевому углу смачивания, работе адгезии и коэффициенту растекания. Хорошее смачивание обеспечива-

ется при низких значениях поверхностного натяжения, небольших краевых углах смачивания, больших величинах работы адгезии и коэффициента растекания. Различные случаи смачивания можно разделить на физическое (обратимое) смачивание, не зависящее от температуры, и химическое смачивание, которое зависит от температуры.

Значения коэффициента поверхностного натяжения для некоторых жидкостей приведены в табл. 1. Поверхностно-активные вещества (ПАВ), входящие в состав СОЖ, уменьшают поверхностное натяжение и улучшают смачивание детали инструмента (ПАВ могут снизить поверхностное натяжение воды на границе с воздухом до 26 мН/м).

**Проникающее свойство.** Наиболее высокие требования к проникающей способности СОТС предъявляются при затруднениях с подводом СОТС к зоне резания – развертывании, растачивании, шлифовании и др. Проникающие свойства улучшаются при уменьшении размеров атомов и молекул среды, вязкости среды, а также при повышении смачиваемости, скорости и направленности подвода.

Проникновение среды в зону резания может происходить по нескольким механизмам: из-за отрыва иароста; под воздействием вибраций; по капиллярам, образующимся на прирезочной поверхности стружки; под воздействием сил адсорбции; под влиянием электрических сил, появляющихся при скольжении дислокаций в процессе резания; через несплошности контакта между стружкой и передней поверхностью, образующиеся при создании на передней поверхности специального рельефа.

## СОТС, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ РЕЗАНИИ

Основные типы СОТС, применяемые при резании, представлены на рис. 2.

### 1. Поверхностное натяжение жидкостей на поверхности раздела жидкость–пар

Жидкость	$\sigma$ , мН/м	Жидкость	$\sigma$ , мН/м	Жидкость	$\sigma$ , мН/м
Вода	72,9	МР-1у	32,2	Масло касторовое	36,4
Глицерин	62,5	МР-6	33,2	Олеиновая кислота	28,6
Аквол (2 %)	36,0	МР-10	25,7	Керосин	25,2
Аквол (5 %)	31,6	И-20А	32	Ртуть	486,5

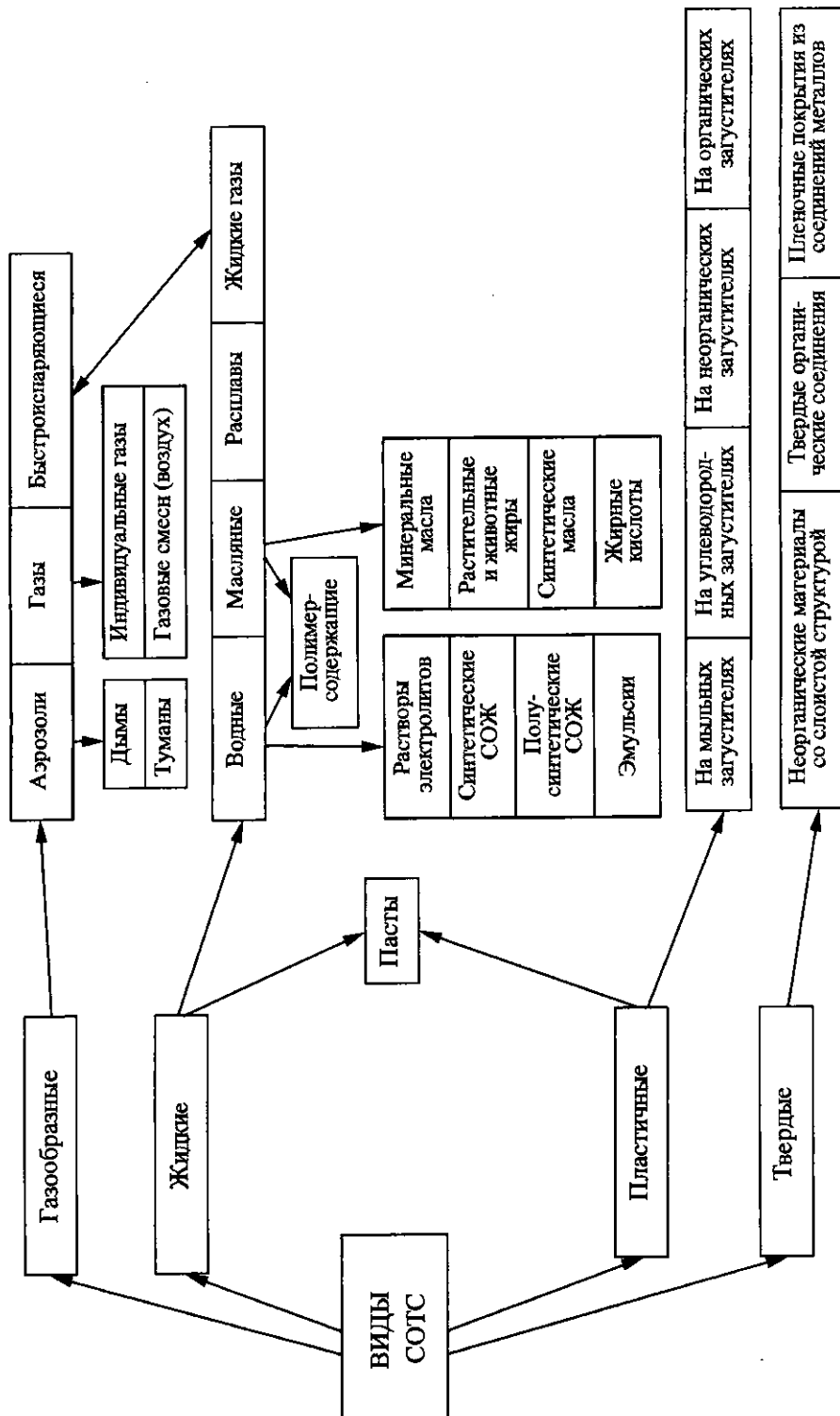


Рис. 2. Классификация современных типов СОТС, применяемых при резании

## ЖИДКИЕ СОТС

Жидкие СОТС принято называть СОЖ (смазывающе-охлаждающие жидкости). По физико-химическим особенностям базовой фазы среди жидких СОТС выделяют водные, углеводородные (масляные), жидкие газы и расплавы.

**Масляные (углеводородные) СОЖ** состоят из минерального масла, к которому могут быть добавлены специальные легирующие присадки различного функционального назначения. Масляные СОЖ обладают хорошими смазочными и антикоррозионными свойствами, но имеют ряд недостатков: низкую охлаждающую способность, вызванную малой теплопроводностью и теплоемкостью; высокую стоимость; повышенную испаряемость и пожароопасность. Масляные СОЖ применяют на операциях с большими давлениями на контактных поверхностях инструмента, а также на отделочных операциях. Основу современного ассортимента масляных СОЖ составляют жидкости серии МР, ОСМ и ЛЗ.

Вязкость масляной СОТС – один из важнейших показателей ее эксплуатационных свойств. По степени кинематической вязкости выделяют 3 группы масляных СОЖ: 1 группа –  $\nu = 1...9$ ; 2 группа –  $\nu = 10...20$  и третья  $\nu > 20$  мм<sup>2</sup>/с. Вязкость масляной СОЖ можно уменьшить, повысив температуру.

Трибологические свойства СОЖ улучшают путем добавления антифрикционных, антиизносных и антизадирных присадок.

**Антифрикционные** присадки снижают коэффициент трения между инструментом и деталью, инструментом и стружкой. В качестве антифрикционных присадок обычно используют поверхностно-активные вещества (ПАВ), техни-

ческие растительные масла и жиры, жирные кислоты, а также коллоидные дисперсии графита и дисульфида молибдена. Антифрикционные присадки способствуют повышению смачиванию поверхности инструмента и образованию физически адсорбированных смазывающих пленок и, таким образом, уменьшают трение при небольших нагрузках и температурах.

**Антиизносные** присадки снижают износ режущего инструмента и предотвращают заедание при умеренных нагрузках. Эти присадки создают на поверхности инструмента прочные хемосорбированные пленки, обеспечивающие граничное трение. В качестве антиизносных присадок чаще всего используют фосфорорганические соединения (фосфаты, диалкилфосфаты, диалкилдитиофосфаты и др.).

**Антизадирные** присадки предотвращают схватывание поверхности режущего инструмента с поверхностью стружки и уменьшают износ режущего инструмента при наиболее высоких температурных и механических нагрузках за счет образования смазочных пленок высокого давления. В состав антизадирных присадок входят вещества, содержащие серу, хлор, фосфор, йод и другие – элементарная сера, органические сульфиды и полисульфиды, хлорированные парафины, хлорированный тетрамер пропилена и хлорированные эфиры жирных кислот.

При введении в СОЖ присадок следует учитывать температурные условия резания, так как различные присадки вступают в реакцию с металлами при разных температурах. Приблизительные минимальная и максимальная температуры реакции некоторых присадок к СОЖ с металлом и продукты этой реакции приведены в табл. 2.

## 2. Температуры реакции присадок к СОЖ с металлом и продукты этой реакции

Присадки	$t, \text{C}^\circ$	Продукты реакции
Растительные и животные жиры	$t_{\text{заст}}...130$	Адсорбционные смазочные пленки
Жирные кислоты	180...215	Хемосорбированные пленки металлических мыл
Хлорсодержащие	140...530	Хлориды
Фосфорсодержащие	200...650	Фосфиды
Серосодержащие	200...1000	Сульфиды

Примечание:  $t_{\text{заст}}$  – температура застывания капли жира на металле.

### 3. Примерное количество присадок к масляным СОЖ

Присадки	% содержания
Антифрикционные	0,5...25
Антигизносные	0,15...5
Антизадиры	
– серосодержащие	0,5...6
– сульфиды и полисульфиды	3...20
– хлорсодержащие	3...40
Ингибиторы коррозии	0,1...2
Антиоксиданты	0,1...0,2
Антипенные	0,001...0,02
Антитуманные	0,5...3
Отдушки	0,1...1

Для предотвращения коррозионного воздействия на металлические поверхности в состав СОЖ вводят *ингибиторы коррозии*. Для стабилизации масляных СОЖ против окисления применяют *антиоксиданты*. Для уменьшения легиобразования, которое препятствует непрерывному охлаждению инструмента и детали и повышает расход СОЖ, добавляют *антипенные присадки*, а для уменьшения образования тумана, ухудшающего условия на рабочем месте и увеличивающего расход СОЖ, вводят *антитуманные присадки*. Примерное количество присадок к масляным СОЖ приведено в табл. 3.

*Компоненты масляных СОЖ.* Основным компонентом масляных СОТС являются минеральные масла (60...100 %): индустриальные (И-5А, И-20А и др.), авиационные (МС-8, МС-14 и др.) и масла различного назначения (ВИ-4, Стабилпласт-62 и др.).

Синтетические масла (искусственные органические соединения) используют в качестве добавок к минеральным маслам для улучшения физико-химических и эксплуатационных свойств. Они негорючие, химически инертны и термически стабильны, имеют хорошие антифрикционные и противоизносные свойства. В чистом виде применяются редко из-за высокой стоимости.

Важнейшим компонентом СОТС являются биологические масла – технические сорта растительных масел (рапсовое, кориандровое,

касторовое, подсолнечное, хлопковое, кукурузное, сосновое и другие неочищенные или низкосортные масла) и животные жиры (говяжий, свиной, бараний, костный, кятовый). Растительные масла лучше смазывают, чем минеральные, так как их молекулы более активны. Жирные кислоты, содержащиеся в растительных маслах (90 %) и животных жирах (60 %), используют для производства углеводородных СОЖ. Наибольшее распространение из жирных кислот получала олеиновая кислота. Кроме того, в состав масляных СОЖ могут входить синтетические жирные кислоты, жирозаменители и различные органические жидкости.

**Водные СОЖ.** Эффективное охлаждение зоны резания может быть достигнуто, если жидкость имеет высокую теплопроводность и большую удельную теплоемкость. Вода отвечает этим требованиям и, в то же время, имеет малую стоимость. Однако ее смазывающие свойства низки, а коррозионная активность – велика. Кроме того, утилизация водных СОЖ часто сложна и дорога.

Водные СОЖ применяют на операциях металлообработки, характеризуемых высокой скоростью резания и небольшими давлениями в зоне контакта режущего инструмента и детали – на операциях, где охлаждение играет первостепенную роль. Для улучшения смазывающих свойств и уменьшения коррозионной активности в воду добавляют различные вещества, в зависимости от дисперсности которых водные СОЖ разделяют на четыре группы: растворы электролитов, синтетические, полусинтетические СОЖ и эмульсии.

*Растворы электролитов* – это СОЖ с ионной степенью дисперсности, при которой размер диспергированных частиц составляет не более  $10^{-6}$  мм. Это прозрачные растворы на основе солей неорганических кислот (соды, буры, хлористого калия, хлористого и фтористого натрия, нитрита натрия, тринатрийфосфата и др.). Соли снижают коррозионную агрессивность и улучшают функциональные свойства воды. Концентрация электролитов обычно не более 2 %. В некоторых классификациях растворы электролитов называют "дающими прозрачные растворы на основе неорганических веществ".

*Синтетические СОЖ* – это среды с молекулярной степенью дисперсности (размер частиц  $10^{-5}$ ... $10^{-6}$  мм). Основными диспергируемыми компонентами являются разнообразные водорастворимые органические продукты.

Важная особенность синтетических СОЖ – отсутствие в их составе минерального масла. В некоторых классификациях такие СОЖ называют "дающими прозрачные растворы на основе органических веществ", "химическими" или "безмасляными". По мере необходимости в синтетические СОЖ вводят противоизносные, противозадириные, антипенные и биоцидные присадки, ингибиторы коррозии. Различают две группы синтетических СОЖ – на основе водорастворимых полимеров и на основе композиций ПАВ.

*Полусинтетические СОЖ* относятся к средам с коллоидной степенью дисперсности (размер частиц  $10^{-4} \dots 10^{-5}$  мм). Диспергируемым компонентом являются маловязкие ( $3 \dots 10$  мм<sup>2</sup>/с) минеральные или синтетические масла, водонерастворимые органические жидкости, в связи с чем концентраты для приготовления полусинтетических СОЖ часто называют растворимыми маслами. Компонентом таких СОЖ также могут быть водорастворимые (поливиниловый спирт, алкидные смолы, мочевино-формальдегидные смолы, казеин) и вододиспергируемые (поливинилацетат, поливинилхлорид, натуральный и синтетический каучук) полимеры, поэтому синтетические СОЖ еще могут называться "микроэмульсиями". Для улучшения эксплуатационных характеристик в полусинтетические СОЖ вводят различные добавки – ингибиторы, стабилизаторы, антипенные присадки, бактерициды.

*Масляные эмульсии* – это грубодисперсные системы, образующиеся при добавлении в воду масел в количестве 1...5 %. Масло в эмульсии распределено в воде в форме мельчайших капелек размером от 0,001 до 0,005 мм. В масляных эмульсиях совмещаются положительные свойства углеводородных и водных СОЖ и нивелируются их отрицательные свойства. Так, низкая охлаждающая способность масла компенсируется высокой охлаждающей способностью воды, а низкое смазывающее действие воды увеличивается высокими смазывающими свойствами углеводородов и т.д.

Масляные эмульсии применяются на операциях металлообработки, характеризующимся высокой скоростью резания и относительно небольшими давлениями в зоне контакта режущего инструмента и детали – на операциях, где охлаждение играет первостепенную роль, а смазывающее действие вторично, но необходимо.

Для изготовления эмульсии используют концентрат, называемый *эмульсолом*, который

в общем случае состоит из базовой масляной основы (70...85 %), эмульгатора, веществ-связок, присадок, улучшающих трибологические свойства, ингибиторов, стабилизаторов, антипенных присадок, бактерицидов. *Эмульгаторы* – это активные вещества, которые уменьшают поверхностное натяжение и стабилизируют диспергированные капли, а кроме того, выполняют роль смазочных веществ и ингибиторов коррозии. От природы и качества эмульгатора в значительной степени зависит стабильность эмульсии. Эмульгатор – база для присадок. В качестве эмульгаторов используют: мыла высших органических кислот, соли нафтеновых кислот и другие мылообразные продукты, гидрофильные порошки (глины, бентониты, окислы, карбонаты, сульфаты металлов и др.).

*Вещества-связки* предназначены для обеспечения совместимости базового минерального масла с эмульгаторами и совместимости эмульсола с водой. К таким веществам относятся спирты, гликоли, эфиры гликолей.

Масляные эмульсии представляют собой хорошую питательную среду для роста и размножения микроорганизмов – бактерий и грибов. Микроорганизмы оказывают ухудшающее воздействие на эксплуатационные свойства СОТС, а также могут вызывать кожные заболевания у рабочих. Для защиты от микроорганизмов в СОЖ добавляют *бактерицидные присадки* – биоциды, которые парализуют рост всех микроорганизмов. Эмульгаторы и другие ПАВы обычно обладают высокой пенообразующей способностью, поэтому для регулирования уровня пены вводят антипенные присадки. Кроме того, в водные СОЖ добавляют стабилизаторы для стабилизации эмульсии и отдушки для регулирования запаха.

Примерное количество вводимых в эмульсолом присадок приведено в табл. 4.

#### 4. Примерное количество присадок к эмульсолом

Присадки	% содержания
Ингибиторы коррозии	0,5...5
Антипенные	0,1...0,3
Биоциды	0,05...0,3
Вещества-связки	1...5

**Полимерсодержащие СОЖ.** Полимерсодержащие среды могут создаваться на водной и масляной основе в виде эмульсий (чаще), растворов и дисперсий высокомолекулярных соединений с определенными, заранее заданными свойствами. Поэтому по отдельным свойствам (трибологические, диспергирующие свойства, термоустойчивость и др.) полимер-

содержащие СОЖ превосходят масляные СОЖ. Однако полимерные СОЖ могут использоваться только на конкретных операциях (так как они проектируются под конкретные условия резания) и не могут применяться при других условиях обработки. Некоторые виды и области применения полимерсодержащих СОЖ приведены в табл. 5.

### 5. Виды и области рекомендуемого применения полимерсодержащих СОЖ

Наименование	Состав	%	Области рекомендуемого применения
МХО-60	Латекс поливинилхлорид Эмульсол ЭТ-2 Аэросил марки А-175	39,8 60 0,2	3...5 %-ные водные эмульсии на всех операциях лезвийной обработки углеродистых, легированных, коррозионно-стойких и жаропрочных сталей
МХО-62	Латекс поливинилхлорид Триэтиоламин Уротропин Нитрит натрия Синтаиол ДС-10	71,43 9,14 9,14 4,57 5,72	2 %-ные водные дисперсии на операциях финишной алмазной и абразивной обработки
МХО-64а	Латекс поливинилхлорид Масло И-12А Сульфат натрия Синтамид-5	50 38 10 2	3...5 %-ные эмульсии на операциях лезвийной обработки углеродистых, легированных, жаропрочных сталей и титановых сплавов
МХО-65	Водосмешиваемая СОЖ с полимерной осевой и антикоррозионными и активирующими присадками	-	4 % эмульсии при обработке резанием и шлифованием углеродистых и легированных конструкционных и жаропрочных сталей и сплавов
МХО-66	Водорастворимая СОЖ с полимерными присадками карбоксиметилцеллюлозы	-	1...2 %-ный раствор при обработке резанием и шлифованием труднообрабатываемых сталей и сплавов
МХО-67	Водосмешиваемая СОЖ с полимерной присадкой полиэтиленового воска	-	3 %-ные эмульсии при обработке резанием углеродистых, конструкционных, коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов
МХО-68	Водосмешиваемая СОЖ на полимерной основе (ПВХ) с антикоррозионными присадками	-	4 %-ные эмульсии при обработке резанием труднообрабатываемых сталей и сплавов
МХО-69	Водосмешиваемая СОЖ с полимерной присадкой (ПВХ)	-	5 %-ные эмульсии при обработке труднообрабатываемых сталей и сплавов
МХО-70	Масло минеральное И-12А Поливинилхлорид эмульсионный Стеарат кальция Диинтрилазоизомаляная кислота (ДАК)	93,9 3 3 0,1	Обработка резанием углеродистых, инструментальных, легированных, коррозионно-стойких сталей

6. Рекомендации по применению расплавов, их состав в % и температура расплава  $\Theta$ , °С

Обрабатываемый материал	Состав	$\Theta$
Алюминий и сплавы на его основе	Сплав Вуда: висмут 50, свинец 25; кадмий и олово по 12,5	80...100
Медь и сплавы на ее основе, легированные стали	Олово 57...67, свинец 33...43	190... 200
Малоуглеродистые стали	Висмут 55...65, кадмий 35...45	150
Высокоуглеродистые, закаленные, сложилегированные инструментальные стали и сплавы	Олово 85...95, цинк 5...15	200
Сплавы хромоникелевые жаропрочные	Олово 85...95, цинк 5...15	200
	Олово 100	240
Титан и сплавы на его основе	Кадмий 100	330
	Висмут и олово по 10... 15; цинк 0,1... 10, остальное – кадмий	150

Механизм действия полимерсодержащих СОЖ таков: в зоне резания под воздействием повышенной температуры и давления происходит деструкция полимера с образованием различных активных продуктов, которые взаимодействуют с обрабатываемой поверхностью и материалом инструмента. Эффективность действия полимерсодержащих СОЖ при резании зависит именно от веществ, образующихся при его деструкции, и определяется химической природой, молекулярной массой и концентрацией полимера в среде, а также от параметров режима резания.

**Расплавы** легкоплавких металлов являются одними из весьма эффективных технологических сред для обработки металлов резанием. Использование жидкометаллических сред позволяет проводить высокопроизводительную обработку высокопрочных материалов, неподдающихся резанию с другими СОТС. Основной эффект достигается за счет пластифицирующих и режущих свойств среды.

Металлическую СОТС следует выбирать таким образом, чтобы она максимально снижала прочность материала в зоне резания, а режущий инструмент не испытывал заметного влияния среды. Поэтому не рекомендуется применять напайные режущие инструменты. Кроме этого конструкция инструмента должна позволять отводить из зоны резания образующуюся мелкодисперсную стружку. Состав и

область применения некоторых жидкометаллических сред приведены в табл. 6.

Использование металлических расплавов в качестве технологической среды возможно в четырех формах: в виде расплава активного металла (обработка в ванной с расплавом или полив расплавом), в виде суспензии порошка легкоплавких металлов в масляных и водоземulsionных СОЖ, в виде мелкодисперсного исполнителя в связке шлифовального круга, в виде исполнителя обрабатываемого материала (микролегирование стали кальцием).

**Жидкие газы** (табл. 7). Для интенсификации охлаждения зоны резания и охрупчивания пластичных обрабатываемых материалов, когда применение других сред невозможно или неэффективно, можно использовать жидкие

## 7. Теплофизические свойства сжиженных газов

Газ	Температура кипения, °С	Скрытая теплота испарения, кДж/кг
Азот	-195,8	200,6
Воздух	-190...-195	196,7
Углекислый газ	-78,5	347,8
Кислород	-182,8	213,5
Фреоны	-40...+24	134...254

газы (углекислоту, азот, кислород и др.). Однако этот способ труден в практической реализации, дорог и может охрупчить инструмент, что приведет к его поломке. Поэтому жидкие газы для охлаждения применяются редко, только в особых случаях для особо интенсивного охлаждения зоны резания.

### ПЛАСТИЧНЫЕ СОТС (КОНСИСТЕНТНЫЕ СМАЗКИ)

Пластичные смазочные материалы – это густые мажеобразные продукты. Они занимают по своим свойствам промежуточное положение между твердыми СОТС и маслами. Свойства пластичных СОТС отличаются как от свойств упругих тел, так и от свойств вязких жидкостей – основным специфическим свойством является упруговязкопластический характер деформирования под нагрузкой. Пластичные СОТС имеют структурный каркас, который заполнен жидким наполнителем. При небольших нагрузках из-за жесткого каркаса пластичные смазки ведут себя как твердые тела (не растекаются, удерживаются на наклонных поверхностях и др.), а под воздействием нагрузок выше критических происходит распад каркаса и начинают проявляться свойства жидкого наполнителя – они текут подобно маслам. После снятия нагрузки течение смазки прекращается, и она вновь приобретает свойства твердого тела.

Пластичные смазки значительно лучше жидких удерживаются на поверхности трения под воздействием высоких удельных нагрузок, однако при повышении температуры теряют смазочные свойства.

Ограничения в использовании пластичных смазочных материалов связаны с трудностью их введения в зону резания, невозможностью сбора, очистки и повторного использования. Пластичные СОТС применяют, в основном, в мелкосерийном и единичном производстве при операциях, выполняемых вручную, с малыми скоростями резания, при которых достаточно периодического смазывания инструмента (такие операции, как нарезание резьбы метчиками и плашками, разворачивание, полирование).

В основном пластичные СОТС состоят из двух компонентов: жидкой основы (масла) и загустителя (5...30 %), образующего трехмерный структурный каркас, в ячейках которого удерживается масло. Нередко в состав пластичной смазки вводят различные наполните-

### 8. Максимальная температура $\Theta$ применения пластичных СОТС, $^{\circ}\text{C}$

Вид загустителя	Состав загустителя	$\Theta$
Мыльный	Мыла (соли высших жирных кислот)	60...180
Углеводородный	Твердые углеводороды: парафины, церезины	50...80
Неорганический	Специально обработанные глины различного происхождения: силикагель, бестоиты и др. минеральные продукты, сажа	120...250
Органический	Различные пигменты (красители), производные мочевины, полимеры и др.	200...300

ли, улучшающие трибологические свойства смазки: графит, дисульфид молибдена, порошкообразные металлы и их окислы, слюду и др. Поскольку именно загуститель определяет основные эксплуатационные характеристики пластичных смазок, классифицировать их принято по свойствам загустителя. В настоящее время используются в основном четыре вида загустителей: мыльные, углеводородные, неорганические и органические. В зависимости от типа загустителя изменяется максимально допустимая температура, при которой возможна эксплуатация данной пластичной смазки (табл. 8).

### ТВЕРДЫЕ СОТС

Твердые смазочные материалы чрезвычайно стабильны в напряженных условиях, стойки в условиях высоких температур и давлений, а также в контакте с агрессивными средами. Они нашли свое применение в качестве наполнителей жидких, газообразных и пластичных СОТС и в чистом виде на операциях, характеризующихся большими давлениями и температурами в зоне резания, а также когда применение обычных СОТС затруднено или недопустимо. В качестве твердых смазочных материалов при резании используют три вида веществ.

1. *Неорганические материалы со слоистой структурой* (структурные смазки) – графит, дисульфиды молибдена, вольфрама и ти-



тана, нитрит титана, селениды и теллуриды вольфрама, тальк, слюда и другие, – обеспечивающие коэффициент трения от 0,02 до 0,06.

2. *Твердые органические соединения* (мыла, воски, парафины, церезины, твердые животные и синтетические жиры и др.) применяются чаще всего в качестве основы (дисперсионной среды) для изготовления твердосмазочных карандашей, брикетов, в качестве компонента пластичных и жидких СОТС, а также как пленкообразующего и связующего компонента при предварительном нанесении на рабочую поверхность инструмента твердых антифрикционных покрытий.

3. *Пленочные покрытия из нитридов, оксидов и карбидов металлов* – TiN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ( $k_{тр} = 0,32$ ), TiC ( $k_{тр} = 0,3...0,7$ ) и т.д. – наносятся однократно на новый инструмент.

## ПАСТЫ

Пасты как технологическая среда для обработки металлов получили наибольшее распространение на операциях финишной алмазно-абразивной обработки – при полировке, абразивной доводке, притирке. Пасты представляют собой разновидности пластичных и жидких СОТС – это смесь абразивных наполнителей и связующих.

В качестве связующих используются различные композиции пластичных и жидких органических и неорганических веществ – олеиновой, стеариновой и пальмитиновой кислот, парафинов, церезинов, синтетических жирных кислот, растительных и животных жиров, восков, керосина, беизина, минеральных масел, полигликолей, спиртов, мыл, глицерина, полимеров и др. В качестве наполнителей используются мелкодисперсные порошки различных абразивных материалов: карбидов кремния и бора, окислы железа, хрома, алюминия, натуральных и синтетических алмазов, КНБ и других твердых и сверхтвердых материалов.

## ГАЗООБРАЗНЫЕ СОТС

Газообразные СОТС обладают максимальной проникающей способностью, поэтому они находят применение при резании с большими скоростями, при обработке труднообрабатываемых материалов, а также в случа-

ях, когда применение СОЖ недопустимо. Газообразные СОТС можно разделить на газы, аэрозоли и быстроиспаряющиеся жидкости.

Газообразные СОТС бывают активными и инертными. *Активные газы* (сероводород, хлор, кислород, углекислый газ и др.) реагируют с материалом инструмента и образуют смазочные пленки, уменьшающие износ инструмента. Активность газа может быть повышена путем его активации различными способами (например, ионизацией).

*Инертные газы* применяются только как защитные для материалов, имеющих большое сродство с кислородом и азотом (воздухом). Если стойкость инструмента обеспечивается окисными пленками, то применение инертных газов снижает ее.

*Аэрозоли* – это дисперсные газообразные среды. Аэрозоли делятся на дымы (дисперсия твердых частиц) и туманы (дисперсия жидкостей).

## ОБОЗНАЧЕНИЕ И СОРТАМЕНТ

Обозначение СОТС по ГОСТ 28549.7–90 "Смазочные масла, промышленные масла и родственные продукты (класс L). Классификация. Группа М (металлообработка)", который соответствует международному стандарту ИСО 6743/7–86, приведено в табл. 9 и 10. По ГОСТ смазочные материалы обозначаются группой букв. Обозначение может быть дополнено классом вязкости.

НПО "МАСМА" предлагает следующую систему обозначения: вначале указывается буквенное обозначение типа СОТС (табл. 11), затем тип присадки, усиливающей смазочные свойства, степень легирования присадками и классы присадок по химической природе. Например: Э1.ПМ.2.абвб – концентрат водосмешиваемой эмульгирующей СОТС, образующей в воде грубые дисперсии, активной по отношению к меди, содержащей 5...10 % маслорастворимых галоидо- и серосодержащих присадок и жировых добавок. М3.ПМ.3.абг – неактивная высоковязкая масляная СОТС с высоким содержанием жиров, галоидо- и серосодержащих присадок.

Сортамент современных видов СОЖ для обработки металлов резанием приведен в табл. 12.

9. Классификация смазочных материалов, применяемых при обработке металлов, распределение категорий продуктов группы М в зависимости от природы и свойств. Незабавленные масла

Категория продуктов	Класс L, группа М	Очищенные минеральные масла или синтетические жидкости	Прочее	Антифрикционные свойства	Противозадирные свойства		По классификации НПО "МАСМА"
					Химически неактивный	Химически активный	
Жидкость с антикоррозионными свойствами	MHA	•					M1 (M2, M3), O*
Жидкость типа MHA с антифрикционными свойствами	MHB	•		•			M1 (M2, M3), П1 (П2, П3, П4), а
Жидкость типа MHA для работы в условиях сверхвысокого давления, химически неактивная	MHC	•			•		M1 (M2, M3), П1 (П2, П3, П4), бвг
Жидкость типа MHA для работы в условиях сверхвысокого давления, химически активная к меди	MHD	•				•	M1 (M2, M3), П1 (П2, П3, П4), бвг
Жидкость типа MHB для работы в условиях сверхвысокого давления, химически неактивная	MHE	•		•		•	M1 (M2, M3), П1 (П2, П3, П4), абвг
Жидкость типа MHB для работы в условиях сверхвысокого давления, химически активная к меди	MHF	•		•		•	M1 (M2, M3), П1 (П2, П3, П4), абвг
Смазки пластичные, пасты, парафины, применяемые в чистом виде или разбавленные жидкостью типа MHA	MHG		Пластичные смазки				П (П1, П2, П3, П4)
Мыла, порошки, твердые смазочные материалы, их смеси (используются неразбавленными)	MHN		Мыла				Т (Т1, Т2, Т3, Т4, Т5)

\* Содержат ингибиторы коррозии.

10. Классификация смазочных материалов, применяемых при обработке металлов, распределение категорий продуктов группы М в зависимости от природы и свойств. Водные жидкости

Категория продуктов	Класс L, группа М	Эмульсии	Микро-эмульсии	Растворы	Прочес	Антифрикционные свойства	Противозадирные свойства	По классификации НПО "МАСМА"
Концентраты, смешанные с водой, молочные эмульсии с антикоррозионными свойствами	MAA	•						Э1.0*
Концентраты типа МАА с антифрикционными свойствами	MAВ	•				•		Э1.П1 (П2, П3, П4).а
Концентраты типа МАА для работы в условиях избыточного давления	MAС	•					•	Э1.П1 (П2, П3, П4).бвг
Концентраты типа МАВ для работы в условиях избыточного давления	MAD	•				•	•	Э1.П1 (П2, П3, П4).абвг
Концентраты, смешанные с водой, представляющие прозрачные эмульсии (микроэмульсии) с антикоррозионными свойствами	MAE		•					Э2.0*
Концентраты типа MAE с антифрикционными свойствами и (или) применяемые в работе в условиях сверхвысоких давлений	MAF		•			•	•	Э2.П1 (П2, П3, П4).абвг
Концентраты при смешивании с водой, дающие прозрачные растворы с антикоррозионными свойствами	MAG			•				P.0*(P1.0, P2.0, P3.0)
Концентраты типа MAG с антифрикционными свойствами и (или) применяемые при работе в условиях сверхвысоких давлений	MAH			•		•	•	P.П1 (П2, П3, П4).абвг
Пластичные смазки и пасты, применяемые при смешивании с водой	MAI				•			-

\* Содержат ингибиторы коррозии.

## 11. Обозначение типов СОТС НПО "МАСМА"

Обозначение по типу СОТС		Обозначение по типу присадок	
Тип СОТС	Обозначение	Тип присадки	Обозначение
<b>Газообразные</b>	Г	<b>Отсутствие присадок</b>	О
Инертные	Г1	<b>Присутствие присадки</b>	П
Активные	Г2	маслорастворимой	ПМ
<b>Жидкие</b>		маслорастворимой, активной по	
<i>водосмешиваемые</i>	В	отиошению к меди	<u>ПМ</u>
образующие в воде эмульсии	Э	водорастворимой	ПВ
грубые дисперсии	Э1	масловодорастворимой	ПМВ
микроэмульсии	Э2	масловодонерастворимой	ПН
дающие прозрачные растворы		<b>Обозначение степени легирования присадками</b>	
на основе:	Р		
органических веществ	Р1		
неорганических веществ	Р2	Степень легирования присадками	Обозначение
смеси органических и			
неорганических веществ	Р3	невысокое (менее 5 %);	1
<i>масляные кинематической вязкости:</i>	М	умеренное (5...10 %);	2
первой группы	М1	высокое (10...30 %);	3
второй группы	М2	очень высокое (более 30 %)	4
третьей группы	М3		
<i>Быстроиспаряющиеся</i>	И	<b>Обозначение классов присадок по химической природе</b>	
<i>Расплавы</i>	Рс		
металлов	Рс1	Классы присадок	Обозначение
солей	Рс2		
других веществ	Рс3	животные и растительные жиры,	а
<b>Твердые</b>	Т	органические	
неорганические (неметаллы)	Т1	кислоты и сложные эфиры:	
мягкие металлы	Т2	галогеносодержащие	б
органические	Т3	серосодержащие	в
смешанные	Т4	фосфорсодержащие	г
другие	Т5	азотосодержащие	д
<b>Пластичные:</b>	П	содержащие другие активные элементы	е
на углеводородных загустителях	П1	комплексные металлоорганические	
на мыльных загустителях	П2	соединения	ж
на смешанных загустителях	П3	растворимые полимеры	з
на других загустителях	П4	органические наполнители	и
		неорганические наполнители	к
		другие химические соединения	л

## 12. СОЖ для обработки металлов резанием

СОЖ	Тип	Изготовитель, разработчики	Область применения
Автокат Ф-78	Эмульсол	МП "Олеокам" г. Набережные Челны, ГНЦ "ЦНИИТМАШ" г. Москва	Лезвийная и абразивная обработка сталей и чугуна
Аквахон	Синтетическая	ОАО "Ивхимпром" г. Иваново	Высокоскоростное шлифование и хонингование сталей
Асхон	Синтетическая	ОАО "Ивхимпром" г. Иваново	Лезвийная обработка сталей и жаропрочных сплавов
В-3	Масляная	ОАО "Пермский завод смазок и СОЖ"	Нарезание резьбы, сверление, развертывание углеродистых, легированных и жаропрочных сталей и цветных металлов
В-3М	Масляная	ОАО "Пермский завод смазок и СОЖ"	Нарезание резьбы, протягивание, развертывание коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов
Велс-1	Эмульсол	ОАО "Пермский завод смазок и СОЖ", ОАО "Ивхимпром" г. Иваново	Лезвийная и абразивная обработка
ВЗ-1	Масляная присадка	ВНИИ НП г. Москва, Московский государственный индустриальный университет (МГИУ)	Лезвийная и абразивная обработка сталей, трудно-обрабатываемых материалов, цветных металлов
ГСВ-1	Масляная	ОАО "Ивхимпром" г. Иваново, ГНЦ "ЦНИИТМАШ" г. Москва	Сверление глубоких отверстий
Ивкат	Полусинтетическая	ОАО "Ивхимпром" г. Иваново, ГНЦ "ЦНИИТМАШ" г. Москва	Лезвийная и абразивная обработка сталей, чугуна, жаропрочных сплавов и алюминия
Карбамол-С-1	Синтетическая	ОАО "Пермский завод смазок и СОЖ"	Шлифование конструкционных коррозионно-стойких и жаро-стойких сталей и сплавов
ЛЗ СОЖ 1 МИО, ЛЗ-26МО	Присадки к масляным СОЖ	ЗАО "Завод имени Шаумяна" г. Санкт-Петербург	Лезвийная обработка
Лубрисол Э-90	Полусинтетическая	НПП "Полихим" г. Санкт-Петербург	Лезвийная обработка
МВ-2-031	Масляная	ВНИКТИнефтехимоборудования г. Волгоград	Точение, полирование, шлифование
МНШ-9	Масляная	ВНИКТИнефтехимоборудования г. Волгоград	Полирование, суперфиниширование, хонингование
Москвинол	Синтетическая	ВНИИ НП г. Москва	Абразивная обработка

Продолжение табл. 12

СОЖ	Тип	Изготовитель, разработчики	Область применения
MP-10	Масляная СОЖ	ОАО "Пермский завод смазок и СОЖ"	Силовое шлифование инструментальных сталей (обработка канавок сверл, разверток, метчиков)
MP-1у, MP-7, MP-11	Масляные СОЖ	АО "Ярославский нефте-маслозавод им. Менделеева", АО "Оренбургский нефте-перерабатывающий завод", ЗАО "Авиатехмас" г. Нижний Новгород	Лезвийная обработка
MP-6	Масляная	ОАО "Пермский завод смазок и СОЖ"	Нарезание резьбы, сверление, развертывание и протягивание коррозионно-стойких, жаропрочных сталей, титановых сплавов и тугоплавких материалов
МХО-60	Водная	Львовский политехнический институт	Абразивная обработка
НГЛ-205	Эмульсол	ОАО "Рязанский нефтеперерабатывающий завод"	Абразивная обработка
ОСМ-1	Масляная СОЖ	ОАО "Пермский завод смазок и СОЖ"	Алмазное хонингование, полирование, суперфиниширование чугунов, углеродистых и низколегированных сталей
Пермол-6	Эмульсол	ОАО "Пермский завод смазок и СОЖ"	Лезвийная и абразивная обработка труднообрабатываемых сталей и цветных сплавов
Прогресс 13К	Синтетическая	ОАО "Ивхимпром" г. Иваново, ГНЦ "ЦНИИТМАШ" г. Москва	Лезвийная и абразивная обработка углеродистых и коррозионно-стойких сталей, алюминия и жаропрочных сплавов
РЖ-М, РЖ-3, РЖ-8	Рабочие жидкости	АО "Салаватский нефтеперерабатывающий завод", Ангарская нефтехимическая компания МП "Олеокам"	Развертывание, хонингование, суперфиниширование, полирование
Росойл-1МИО, Росойл-305	Масляная	Росойл, Уфа ХТЦ Уфимского авиационного института	Абразивная обработка
Росойл-503	Эмульсол	Росойл, Уфа ХТЦ Уфимского авиационного института	Лезвийная и абразивная обработка
РС-1	Масляная	ВНИКТИнефтехимоборудования г. Волгоград	Абразивная обработка
Синтол	Синтетическая	ОАО "Ивхимпром" г. Иваново, ГНЦ "ЦНИИТМАШ" г. Москва	Лезвийная обработка сталей и жаропрочных сплавов

Окончание табл. 12

СОЖ	Тип	Изготовитель, разработчики	Область применения
СП-3	Смазка технологическая	ОАО "Пермский завод смазок и СОЖ"	Токарная обработка алюминиевых сплавов
СП-4	Масляная	ОАО "Ивхимпром" г. Иваново, ГНЦ "ЦНИИТМАШ" г. Москва	Лезвийная обработка углеродистых и легированных сталей, цветных металлов и сплавов
СП-44	Присадка к маслам	ОАО "Ивхимпром" г. Иваново, ГНЦ "ЦНИИТМАШ" г. Москва	Лезвийная обработка углеродистых и легированных сталей, в том числе на станках-автоматах
Сувар-3М	Синтетическая	НПП "Теко" г. Чебоксары	Абразивная обработка
Сульфогал	Масляная	ОАО "Ивхимпром" г. Иваново	Лезвийная обработка
СЦМ-1	Синтетическая	ОАО "Ивхимпром" г. Иваново, ГНЦ "ЦНИИТМАШ" г. Москва	Лезвийная и абразивная обработка
СЦМ-2	Эмульсол	ОАО "Ивхимпром" г. Иваново, ГНЦ "ЦНИИТМАШ" г. Москва	Лезвийная и абразивная обработка
Г	Эмульсол	ОАО "Пермский завод смазок и СОЖ", АО "Ивхимпром"	Лезвийная и абразивная обработка черных и цветных металлов
Тафол	Эмульсол	ОАО "Ивхимпром" г. Иваново, ГНЦ "ЦНИИТМАШ" г. Москва	Лезвийная и абразивная обработка сталей, чугуна, алюминия и жаропрочных сплавов
Техмол-1	Синтетическая	ОАО "Пермский завод смазок и СОЖ"	Лезвийная и абразивная обработка конструкционных, коррозионно-стойких и жаропрочных сталей, сплавов на основе титана и алюминия
Тосол ОИЗ, Купрол	Синтетическая	ОАО "Синтез" г. Дзержинск, МП "Олеокам", фирма "Хелп-Трибо" г. Москва	Абразивная обработка
Уверол	Эмульсол	ОАО "Пермский завод смазок и СОЖ"	Лезвийная и абразивная обработка сталей и цветных сплавов
ЭГТ, ЯЗ-1	Эмульсол	ОАО Ростовская инженерная компания по смазочным материалам "Рикос", "Фукс-Янос" г. Ярославль, ОАО "Ивхимпром" г. Иваново	Лезвийная обработка
Эмолон-1, Эмолон-2	Эмульсол	НПП "Химмотолог" г. Липецк	Лезвийная обработка черных и цветных металлов
Эмулькат	Полусинтетическая	ОАО "Ивхимпром" г. Иваново	Лезвийная обработка стали и алюминия
Эра М	Водная	ОАО "РНТЦ проблем безызносности в машинах"	Лезвийная обработка
Эфтол	Синтетическая	ОАО "Ивхимпром" г. Иваново, ГНЦ "ЦНИИТМАШ" г. Москва	Лезвийная и абразивная обработка чугуна и сталей и жаропрочных сплавов

## ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ "ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА" СОТС

Оснoвными этапами "жизненного цикла" СОТС являются: изготовление СОТС на заводе-производителе, приготовление на заводе-потребителе, применение на операциях резания и утилизация. На всех этапах "жизненного цикла" проводится оценка качества СОТС.

### ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СОТС

Качество СОТС – многогранное понятие, которое включает в себя большое количество разнообразных свойств, таких как: функциональные, химические, физические, технологические, экономические, экологические.

Все СОТС независимо от области их применения должны: 1) не снижать эксплуатационных характеристик деталей, изготовленных при их применении; 2) быть устойчивыми при эксплуатации, хранении и транспортировании; 3) не воспламеняться при температурах, сопровождающих процесс резания; 4) иметь удовлетворительные санитарно-гигиенические свойства; 5) не выделять в процессе эксплуатации пену, дым, клеекие вещества, не смешиваться с машинными маслами; 6) не оказывать окрашивающего, коррозионного и растворяющего действия на узлы и механизмы станка, а также на изоляцию электрооборудования; 7) обладать легкостью разложения перед сбрасыванием в сточные воды.

Для контроля за качеством СОТС применяются различные параметры. Часть параметров характеризует *физическое состояние* СОЖ, а другая – их способность к *химическим превращениям*, третья часть характеризует *химический состав*.

В производстве применяют как стандартные (по ГОСТ) методы оценки качества СОТС, так и нестандартные (исследовательские) методы, которые опираются на ОСТы, инструкции по эксплуатации СОТС и производственный опыт.

Стандартами предусмотрены следующие показатели качества СОТС: внешний вид (ГОСТ 6243–75 (в ред. 1991 г.)); цвет; запах; плотность (ГОСТ 3900–85 (в ред. 1991 г.)); вязкость (ГОСТ 33–2000); температуры вспышки, воспламенения и самовоспламенения (ГОСТ 4333–87 (в ред. 1990 г.)), застывания; стабильность при хранении и при низких температурах, стабильность эмульсии (ГОСТ 6243–75 (в ред. 1991 г.)); окисляемость (ГОСТ

18136–72 (в ред. 1992 г.), ГОСТ 981–75 (в ред. 1991 г.)); коррозионное воздействие (ГОСТ 6243–75 (в ред. 1991 г.), ГОСТ 2917–76 (в ред. 1989 г.)); биостойкость (ГОСТ 9.085–78 (в ред. 1989 г.)); содержание свободной щелочи, общее содержание высокомолекулярных органических соединений и кислотное и щелочное числа (ГОСТ 6243–75 (в ред. 1991 г.), ГОСТ 11362–96, ГОСТ 5985–79 (в ред. 1992 г.)); число омыления и содержание свободных жиров (ГОСТ 21749–76 (в ред. 1989 г.) и ГОСТ 17362–71 (в ред. 1989 г.)); показатель pH (ГОСТ 6243–75 (в ред. 1991 г.) и ГОСТ 6307–75 (в ред. 1985 г.)); содержание активных элементов – серы, фосфора; кальция, хлора, азота и др. (ГОСТ 1431–85 (в ред. 1992 г.), ГОСТ 1437–75 (в ред. 1993 г.), ГОСТ 3877–88, ГОСТ 9827–75 (в ред. 1989 г.), ГОСТ 20242–74 (в ред. 1992 г.)); содержание воды (ГОСТ 2477–65 (в ред. 2003 г.)); содержание механических примесей (ГОСТ 6370–83 (в ред. 1989 г.) и смол (ГОСТ 15886–70 (в ред. 1984 г.)); смазывающие свойства (ГОСТ 9490–75 (в ред. 1994 г.)).

### ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ПРИГОТОВЛЕНИЕ СОТС

Углеводородные, водосмешиваемые и пластичные СОТС изготавливают смешением компонентов при заданной температуре до образования однородной смеси. Пластичные СОТС после этого прессуют или экструдуют.

Готовым продуктом является масляная СОЖ, эмульсол (для дальнейшего приготовления масляных эмульсий), концентрат синтетической или полусинтетической СОЖ (который затем смешивают с водой), брикеты, карандаши или пасты.

Приготовление СОТС заданного состава и свойств – сложный и ответственный процесс, определяющий долговечность и эффективность СОТС в процессе эксплуатации. Приготовление СОТС может осуществляться в специализированном цеху (участке, отделении), на рабочем месте и непосредственно при подаче в зону обработки.

Приготовление всех типов СОТС начинается с проверки качества компонентов, используемых при приготовлении – эмульсолов, концентратов и др. Затем проводится подготовка оборудования – очистка, промывка и дезинфекция емкостей, лотков, трубопроводов, фильтрующих устройств и других элементов системы приготовления СОТС.



При *приготовлении водосмешиваемых СОЖ* необходимо провести подготовку воды, которая в общем случае состоит из деионизации, дегазации и обеззараживания. Деионизация включает в себя умягчение и обезжелезивание воды. Известны 4 группы способов умягчения воды (термические, реагентные, ионообменные и комбинированные) и 9 методов обезжелезивания воды (азирование, озонирование, хлорирование, известкование, коагулирование, фильтрование через активные загрузки, обработка активной кремнекислотой, электролиз, катионообмен). Методы обеззараживания воды подразделяются на основные (окисление газами, реагентные, радиационные, электрохимические, ультразвуковые, электрические и мембранные) и комбинированные, представляющие собой сочетания основных.

При смешивании компонентов СОЖ в базовую жидкость (воду) вводят дозированное количество исходных компонентов и затем их диспергируют или разбавляют. Компоненты могут разбавляться самопроизвольно (что происходит редко) или принудительно. Принудительное разбавление позволяет ускорить процесс приготовления СОЖ и повысить их качество. Существуют следующие методы пере-

мешивания: механическое перемешивание быстроходными и тихоходными мешалками; перемешивание звуковыми колебаниями, проходящими через жидкость (акустический способ); гомогенизация; барботирование острым паром и сжатым воздухом; циркуляционное перемешивание; перемешивание неподвижными турбулизаторами; коллоидное измельчение в дезинтеграторах и дисембраторах; перемешивание мощным ударным импульсом.

*Аэрозоли* готовят в процессе обработки в непосредственной близости от зоны обработки путем распыления жидкостей, различными способами, различающимися по энергетическому воздействию на струю жидкости и на воздух. Существуют механическое, гидравлическое, ультразвуковое, пульсационное, электрогидравлическое, электростатическое, пневматическое и акустическое распыления, а также комбинированные.

Заключительным этапом приготовления СОЖ является контроль ее качества.

### ПРИМЕНЕНИЕ СОЖ

В табл. 13 и 14 приведены области применения основных видов СОЖ.

#### 13. Области применения СОЖ

Основа	Основное действие	Вид СОЖ	Свойства и показатели
Вода	Охлаждающее и моющее	Растворы электролитов	Обладают высокими охлаждающими и моющими свойствами. Повышают износ инструмента и ухудшают шероховатость
		Растворы ПАВ	Обладают высокими охлаждающими и моющими свойствами, улучшенными смазочными свойствами. Повышают стойкость инструмента
		Масляные эмульсии	Обладают высокими охлаждающими и моющими свойствами. Сохраняют смазочные свойства при повышенных контактных давлениях и температурах
Масло	Смазочное	Растительные масла	Нанлучшая смазка. Дорогая и имеет невысокую стабильность
		Минеральные масла	Низкая теплопроводность и теплоемкость. Высокие смазочные свойства
		Синтетические масла	Негорючие, химически инертны и термически стабильны, имеют хорошие антифрикционные и противозносные свойства. Дорогие

Окончание табл. 13

Основа	Основное действие	Вид СОЖ	Свойства и показатели
Газы	Смазочное, охлаждающее и защитное	Индивидуальные газы	Обладают высокими проникающими свойствами и позволяют обеспечить смазку в труднодоступных местах (активные газы и аэрозоли), защиту детали и инструмента (инертные газы) и охлаждение (жидкие газы). Не требуют утилизации
		Газовые смеси	
		Аэрозоли	
Расплавы	Режущее и пластифицирующее	Расплавы легкоплавких металлов	Уменьшают силу и мощность резания, охрупчивают пластичную стружку, уменьшают налипание стружки. Требуют технологической и технической подготовки
Пластичные	Смазочное	Консистентные смазки	Обеспечивают хорошее смазывание при повышенных давлениях и невысоких температурах. Возможно только периодическое смазывание инструмента
Твердые	Смазочное	Структурные смазки	Используются в качестве наполнителей жидких, газообразных и пластичных СОТС. Обеспечивают смазывание при больших давлениях и температурах
		Протекторные смазки	Обеспечивают снижение коэффициента трения в тяжелых условиях. Требуют предварительного нанесения

## 14. Рекомендации по выбору СОЖ

Вид технологической операции	Характерные условия в зоне	Основные требования к назначаемой СОЖ	Рекомендуемые СОЖ
Черновые операции с пониженными скоростями резания (на станках-автоматах и полуавтоматах)	Малая интенсивность тепловыделения	Высокие смазочные свойства	Минеральные масла
Черновые операции с повышенными скоростями резания	Высокая теплонапряженность	Охлаждающее действие	СОЖ на водной основе
Черновые и чистовые операции при обработке высокопрочных жаропрочных сталей и сплавов	Повышенные контактные давления и температура	Увеличение сопротивляемости защитных пленок нормальным контактным напряжениям	Эмульсия с ПАВ
Обработка на малых и средних скоростях резания с малыми толщинами стружки: нарезание резьбы, зубчатых колес, протягивание и др.	Малая интенсивность тепловыделения	Смазочное действие	Масла
Обработка пластичных и вязких материалов шлифованием	Налипание стружки, высокая мощность резания	Режущее и пластифицирующее действие	Расплавы легкоплавких металлов
Операции с низкими скоростями резания в условиях единичного производства	Высокое качество поверхности	Смазочное действие	Пластичные СОТС
Чистовая обработка			Масла

Правильное применение СОТС при обработке металлов резанием позволяет максимально использовать заложенные в нее функциональные свойства, а также активизировать то действие СОТС, которое необходимо для данной операции. Известны три системы применения СОТС: индивидуальная, централизованная и групповая.

При *централизованной* системе подачу СОТС на рабочее место, сбор отработанной СОТС, ее очистку и регенерацию осуществляют в специальных цехах или участках, оснащенных мощным высокопроизводительным оборудованием. Такая организация позволяет осуществлять высококачественное приготовление и очистку СОТС при низкой себестоимости. Однако централизованная система требует использования унифицированных СОТС в больших объемах.

При *индивидуальной* системе подачу, сбор, регенерацию СОТС осуществляют непосредственно на рабочем месте средствами, которыми оснащены металлорежущие станки. Система позволяет применять различные СОТС на разных станках и оперативно реагировать на потребности производства, хотя такая система дороже в эксплуатации и качество ее работы ниже, чем у централизованной системы.

*Групповые* системы подачи соединяют в себе достоинства централизованной и индивидуальной систем. При групповой организации применения СОТС подается централизованно на группу станков, объединенную по типу используемой СОЖ. Возможны также *смешанные* системы. Например, когда СОТС готовится и утилизируется централизованно, а собирается и очищается на рабочем месте.

*Подача СОТС в зону резания.* Способы подачи СОТС в зону резания можно разделить на две группы – методы, обеспечивающие непрерывную подачу СОТС в зону обработки, и методы, осуществляющие подачу СОТС прерывисто (дискретно). Методы первой группы обеспечивают интенсивное охлаждение и возможность проникновения СОТС в зону резания, а методы второй группы позволяют уменьшить расход СОТС при достаточно хорошем смазывающем эффекте. Комбинированные методы подачи СОТС соединяют в себе различные методы подачи, причем они могут реализовываться как параллельно, так и последовательно. В первом случае СОТС подается в зону обработки разными способами одновременно, во втором – СОТС подается сначала одним методом, а затем – другим. На рис. 3 приведена классификация методов непрерывной подачи СОТС в зону обработки, а на рис. 4 – классификация методов дискретной подачи.

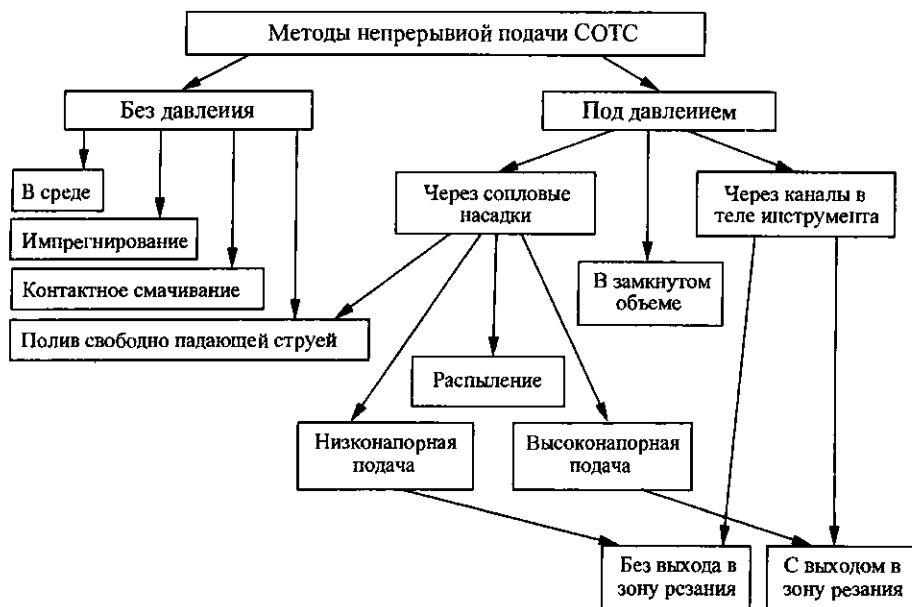


Рис. 3. Классификация методов непрерывной подачи

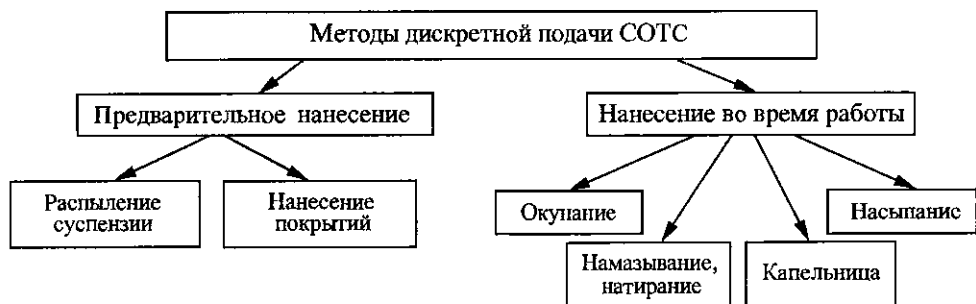


Рис. 4. Классификация методов дискретной подачи СОТС

**Подача СОЖ при лезвийной обработке.** *Подача свободно падающей струей (поливом)* при давлении 0,02...0,03 МПа – наиболее широко применяемый способ подвода СОТС. Он эффективен практически для всех видов обработки и инструмента. Эффективность этого способа зависит от расхода СОЖ, размеров, формы и траектории струи. Для увеличения расхода СОЖ через зону обработки и вымывания из нее стружки применяют *подачу СОЖ под давлением* – высоконапорную подачу под давлением не менее 1,5 МПа и низконапорную под давлением 0,05...0,2 МПа.

*Подача СОЖ через каналы в инструменте с выходом в зону резания* обеспечивает хорошее удаление стружки. Поэтому этот способ получил широкое применение при обработке отверстий сверлами, зенкерами, развертками, протяжками и при нарезании резьбы метчиками. Такой подвод СОЖ целесообразен также для инструментов, заменяемых в рабочей позиции (особенно – в автоматическом режиме). В этом случае отпадает необходимость настройки направления подачи СОЖ. При *подаче СОЖ через каналы в инструменте без выхода в зону резания* СОЖ циркулирует внутри тела инструмента, выполняя только одну функцию – охлаждение. Способ применяют на отдельных операциях точения, когда контакт СОЖ с деталью недопустим. С целью усиления охлаждения температуру циркулирующей жидкости понижают.

*Подача СОЖ в распыленном состоянии* обеспечивает весьма малый расход СОЖ (до 10 г/мин эмульсии и до 0,1 г/мин масла), что снимает необходимость сбора, очистки и разложения отработавшей СОЖ.

*Контактное смачивание инструмента* перед резанием применяют в редких случаях в единичном и мелкосерийном производстве. Например, при нарезании резьбы метчиками и

плашками и развертывании неглубоких отверстий как на универсальном оборудовании, так и на агрегатных станках.

При *резании в замкнутом объеме жидкости*, находящейся под высоким статическим давлением (30...60 МПа), достигается полное проникновение СОЖ в зону обработки. Применение этого способа целесообразно при обработке отверстий мелкоразмерным концевым инструментом и обеспечивает повышение стойкости сверл в 20...22 раза.

**Подача СОЖ при шлифовании.** Вращающиеся с большими скоростями шлифовальные круги создают мощные воздушные потоки, препятствующие доступу СОЖ к зоне резания. Все существующие способы подачи СОЖ при шлифовании так или иначе увеличивают кинетическую энергию струи СОЖ для преодоления воздушного барьера или "обходят" воздушный поток. Краткая характеристика методов подачи СОЖ при шлифовании представлена в табл. 15.

*Подача свободно падающей струей (полив)* – наиболее распространенный способ подачи СОЖ при шлифовании, что объясняется простотой его реализации. Однако большая часть жидкости, подаваемой свободным поливом, не достигает поверхности шлифовального круга. Увеличение давления струи (1,0...1,5 МПа) при *подаче СОЖ напорной струей* позволяет преодолеть воздушное сопротивление и улучшает проникновение жидкости в зону шлифования. Однако при этом усиливается разбрызгивание. При *струйно-напорном внезонном способе* подачи СОЖ под давлением подается на поверхность шлифовального круга не в зоне резания, что уменьшает разбрызгивание.

При *гидроаэродинамическом методе* для повышения скорости движения жидкости используется энергия воздушных потоков. Метод

## 15. Краткая характеристика методов подачи СОЖ при шлифовании

№ способа	Способ подачи СОЖ	Действие СОЖ				
		Смазочное	Охлаждающее	Моющее по отношению к		
				кругу	заготовке	станку
<i>Основные способы</i>						
1	Поливом	Н	У	Н	Х	Х
2	Напорной струей	У	Х	У	В	Х
3	Распылением	Н	У/Н	Н	Н	Н
4	Струйно-напорный врезной	Х	В	В	Х/В	Х
5	Гидроаэродинамический	Х	В	Х/В	Х	Х
6	С УЗ-колебаниями	Х	У	В	У	У
7	Через поры круга	В/Х	Н	Н	Н	Н
8	Через каналы в круге	В/Х	У/Н	Н	У/Н	Н
9	В среде СОЖ	В	Х	У	У	У
10	Контактный	В/Х	Н	Н	У	Н

*Комбинированные способы*

11	Поэтапный	С/В	С/Н	С/Н	С/Н	С/Н
12	1(2) + 7(8)	О	У	У	Х	Х
13	1(2) + 4	Х	В	В	В	В
14	1 + 6	Х	У	В	Х	Х
15	1(2) + 10	О/Х	У	О	Х	Х
16	4 + 10	О	В	В	Х/В	Х
17	1(2) + 5	Х	В	В/Х	В	В

Примечание. Обозначение эффективности действия СОЖ: Н – незначительная, У – удовлетворительная, Х – хорошая, В – высокая, О – особо высокая. В числителе – на начальных этапах цикла, в знаменателе – при выхаживании.

реализуется при помощи сопел специальной конструкции и не требует высоконапорного гидравлического оборудования, однако необходимо обеспечить постоянство зазора между поверхностью круга и соплом.

При подаче с ультразвуковыми колебаниями СОЖ поступает в зазор между кругом и волноводом и образует промежуточную среду для передачи ультразвуковых колебаний к поверхности круга. Способ позволяет хорошо очищать поры круга и создает условия для эффективного шлифования даже вязких металлов – меди, алюминия, нержавеющей ста-

лей и др. Трудность реализации метода состоит в обеспечении точности зазора между волноводом и кругом, а также в сложности УЗ-оборудования и низкой эффективности озвучивания масляных СОЖ.

При подаче через поры шлифовального круга жидкость подводится во внутреннюю полость круга и под действием центробежных сил и небольшого давления проходит через поры на рабочую поверхность. При этом поры круга промываются и создаются условия для образования прочных смазочных пленок. Недостатки способа: охлаждающее действие не-

велико; для кругов на вулкантовой и бакелитовой связках способ не применим; из-за неравномерности подачи СОЖ через поры может возникнуть разбалансировка и вибрации; требуется высокая степень очистки СОЖ. Подача СОЖ *через каналы в круге* применяется редко из-за отсутствия кругов с радиальными или наклонными каналами.

Шлифование *в среде СОЖ* применяют сравнительно редко, главным образом, при ленточном и плоском шлифовании и резании небольших заготовок. При подаче СОЖ *распылением* энергии струи и количества подаваемой жидкости недостаточно для оказания влияния на процесс шлифования, поэтому этот способ применяется редко.

Подача СОЖ *контактным способом* позволяет непрерывно наносить тончайший слой смазки путем поджима к шлифуемой поверхности мягкого пористого материала, пропитанного смазкой. Этим способом следует наносить дорогие составы. Однако охлаждающее действие мало, поэтому этот способ применяют только в комбинации с другими. Контактное смазывание позволяет легко реализовать многофазное смазывание, когда на инструмент наносят разные смазочные материалы.

*Импрегирование* — это процесс частичного или полного заполнения каким-либо технологическим средством пор абразивного инструмента. Импрегатор в порах находится в твердом или пластичном состоянии и перемещается в зону обработки под воздействием центробежных сил после размягчения под воздействием тепла, выделившегося при шлифовании. В качестве импрегатора используют твердые органические соединения (парафины, стearины, воски, полимеры, смолы), модифицированные твердосмазочными или химически активными присадками.

При шлифовании широко применяют различные *комбинированные* способы подачи СОТС (табл. 15). Одним из них является *поэтапный способ*, в соответствии с которым используются две разные СОЖ, подающиеся в зону резания последовательно.

**Подача пластичных и твердых СОТС.** Основные трудности подачи твердых и пластичных смазочных материалов состоят в изыскании наиболее эффективных способов введения их в зону обработки. Для непрерывной подачи в зону обработки твердые и пластичные СОТС добавляют в жидкие и газообразные СОТС. При этом образуются суспензии или дымы.

При дискретном применении твердых и пластичных СОТС на поверхности инструмента создают пленку смазочного вещества. Способы создания пленки: *насыпание* (окувание) на поверхность инструмента или детали порошка твердой смазки; *натирание* поверхностей специальными брикетами, караидашами, пастами; *окувание* инструмента в среду, содержащую твердую смазку и связующее пленкообразующее вещество (чаще всего эпоксицидные смолы); *намазывание* на поверхность инструмента пластичной СОТС кисточкой, лопаткой и другими приспособлениями; *распыление суспензии*, содержащей твердую смазку, связку, летучий растворитель и отвердитель, позволяет после высушивания смеси на поверхности инструмента или заготовки получить равномерное смазочное покрытие; *импрегнирование*.

## УТИЛИЗАЦИЯ СОТС

Утилизации подвергаются только СОЖ и она состоит из нескольких этапов. Сначала проводится обезвреживание (или разделение), затем регенерация или восстановление, а если регенерация невозможна — собственно утилизация.

Основная цель *обезвреживания* — получение технических чистых оборотных и сточных вод, а также сбор масляной фазы или других активных компонентов для дальнейшей регенерации или утилизации. При обезвреживании синтетических СОЖ следует иметь в виду, что они могут содержать как органические, так и неорганические компоненты, методы обезвреживания которых различаются. Обезвреживание эмульсий и синтетических СОЖ чаще всего производится при их разделении на составляющие фазы. Известны следующие методы разделения на фазы: седиментационные (отстаивание), механические, реагентные, коагуляционные, флотационные, электрохимические (электрокоагуляция, электрофлотация), сорбционные, мембранные, термические, биологические, ионообменные, электродиализные методы.

Основным способом обезвреживания масляных СОЖ (а также органических остатков после обезвреживания водных СОЖ) является их сжигание в специальных установках. В таких установках могут сжигаться масла с примесью воды до 65 %.

*Регенерация* – это комплекс мероприятий, направленных на восстановление эксплуатационных свойств СОЖ. Основные методы регенерации: отстаивание, центрифугирование, фильтрация, отгонка воды и легких фракций, промывка водой, перегонка, коагуляция, адсорбция, контактно-кислотная очистка, щелочная очистка, гидроочистка, ультрафильтрация, селективная очистка. Масла, не подлежащие регенерации, подлежат утилизации.

При *утилизации* СОЖ, содержащие масло, применяют в качестве закалочных сред, смазочных материалов при литье, обработке давлением и в строительной промышленности, в качестве основы для изготовления грунтовок, красок, мастик и полирующих составов, для консервации металла, при производстве керамзита, асфальтобетонных покрытий, а также для изготовления пленкообразующего продукта, предохраняющего сыпучие материалы от смерзания и

выдувания и для пропитки древесины. Утилизация может проводиться как на предприятии-потребителе СОЖ, так и путем передачи отработанных жидкостей другим организациям.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Смазочно-охлаждающие технологические средства** для обработки металлов резанием: Справ. / Под ред. С.Г. Эitelisa, Э.М. Берлиера. М.: Машиностроение, 1986. 352 с.
2. **Бердичевский Е.Т.** Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки материалов: Справ. М.: Машиностроение, 1984. 224 с.
3. **Малиновский Г.Т.** Масляные смазочно-охлаждающие жидкости для обработки металлов резанием. Свойства и применение. М.: Химия, 1993. 160 с.

ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ МАШИН

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Технологический процесс сборки – процесс, содержащий действия по установке и образованию соединений составных частей изделия (ГОСТ 23887–79).

Сборочная операция – технологическая операция установки и образования соединений составных частей заготовки или изделия.

Технологический переход – законченная часть технологической операции, выполняемая одними и теми же средствами технологического оснащения при постоянных технологических режимах и установке.

При технологическом процессе сборки выделяют следующие виды работ: 1) подготовительные (расконсервация, мойка, сортировка и др.); 2) слесарно-пригоночные; 3) собственно сборочные (соединение деталей в сборочные единицы и изделия свинчиванием, запрессовкой, клепкой, сваркой, пайкой и т.п.); 4) регулировочные; 5) контрольные и 6) демонтажные (частичная разборка изделия с целью подготовки его к упаковке и транспортированию).

Последовательность сборки зависит от конструкции собираемого изделия и степени дифференциации сборочных работ. Наиболее полное и наглядное представление о сборочных свойствах изделия, о его технологичности и возможностях организации процесса сборки дают схемы сборки изделия и установки при сборке (рис. 1). При этом изделие делят на группы, подгруппы и детали. Сборочная единица, непосредственно входящая в состав изделия, называется группой. Сборочная единица, входящая в изделие в составе группы, называется подгруппой. Если сборочная единица непосредственно входит в состав группы, то она называется подгруппой первого порядка. Сборочная единица, входящая непосредственно в подгруппу первого порядка, называется подгруппой второго порядка и т.д. Составные части изделия на схеме обозначают прямоугольником, разделенным на три части: 1) в верхней части вписывают наименование составной части; 2) в нижней левой части – номер составной части; 3) в нижней правой части – число составных частей.

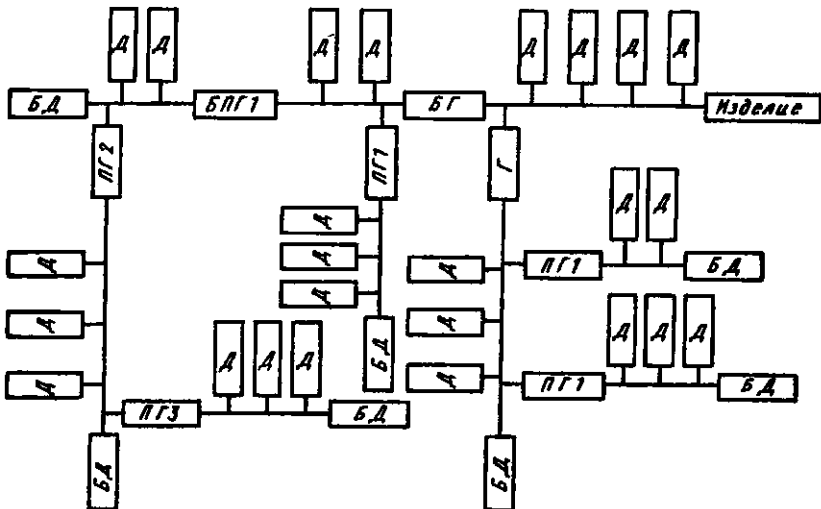


Рис. 1. Схема установки при сборке:

Д – детали; БД – базовые детали группы и подгрупп; Г – группа; БГ – базовая группа; БПГ1 – базовая подгруппа первого порядка; ПГ1 – подгруппа первого порядка; ПГ2 – подгруппа второго порядка; ПГ3 – подгруппа третьего порядка



Графическое изображение в виде условных обозначений последовательности сборки изделия или его составных частей называют схемой сборки изделия.

При проектировании сборочных операций определяют последовательность и возможность совмещения во времени технологических переходов, выбирают оборудование, приспособления и инструмент, составляют схемы наладки оборудования, устанавливают режимы работы, определяют нормы времени на технологические операции и соответствующие разряды сборщиков.

Сборочные операции строят по принципу дифференциации и концентрации. Дифференциацию операций используют при поточной сборке, концентрацию — во всех остальных случаях. При концентрации операций технологические переходы выполняют последовательно, параллельно или параллельно-последовательно.

Последовательность сборочных операций определяют на основе схем сборки изделий и установки при сборке, соблюдая следующие требования: 1) предшествующие операции не должны затруднять выполнение последующих; 2) для поточной сборки разбивка процесса на операции должна осуществляться с учетом такта сборки; 3) после операций, содержащих регулирование или пригонку, а также после операций, при выполнении которых может появиться брак, необходимо предусмотреть контрольные операции.

По методу обеспечения точности замыкающего звена различают сборку: с полной взаимозаменяемостью; с неполной взаимозаменяемостью; с групповой взаимозаменяемостью; с пригонкой; с регулированием; компенсирующими материалами.

Методику расчета размерных цепей для упомянутых случаев регламентирует РД 59-635-87.

По виду перемещения собираемого изделия различают стационарную и подвижную сборку, а по организации производства сборка делится на поточную и групповую. Поточная сборка осуществляется в условиях поточной организации производства; групповая — в условиях групповой организации производства.

По механизации и автоматизации процесса сборка делится на ручную, механизированную, автоматизированную и автоматическую.

Под качеством технологического процесса сборки понимают совокупность свойств технологического процесса, обуславливающих

его пригодность обеспечить требуемое качество изделий и выполнение программы выпуска без превышения установленных затрат.

Абсолютными показателями технологического процесса сборки являются себестоимость и трудоемкость выполнения процесса сборки машины.

Эффективным средством уменьшения трудоемкости сборочных процессов является их механизация и автоматизация.

## СБОРКА НЕПОДВИЖНЫХ РАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

В зависимости от условий нагружения различают соединения без предварительной затяжки и с предварительной затяжкой. Большинство *резьбовых соединений* собирают с предварительной затяжкой. В таком случае процесс сборки состоит из операций установки резьбовых деталей и их наживления, завинчивания, предварительной затяжки, окончательной затяжки, контроля затяжки и стопорения резьбовых деталей. В зависимости от типа производства сборку выполняют вручную с помощью механизированного инструмента и на специальных сборочных машинах.

При наживлении резьбовых деталей угловую скорость  $\omega$  и требуемый момент  $M_H$  для наживления определяют по формулам

$$\omega \leq \frac{2S}{d_2} \frac{1}{\sqrt{\frac{m}{c} \arccos\left(1 - \frac{S \operatorname{tg} \alpha}{H}\right)}};$$

$$M_H = \frac{d_2}{2} c(H - z \pi d_2 \operatorname{tg} \alpha) \operatorname{tg}(\rho - \alpha),$$

где  $S$  — зазор по среднему диаметру резьбы;  $d_2$  — средний диаметр резьбы;  $m$  — масса резьбовой детали и связанных с нею частей шпинделя;  $c$  — жесткость пружины, создающей осевую силу;  $H$  — предварительное сжатие пружины;  $\alpha$  — угол профиля резьбы;  $z$  — число начальных витков резьбы (2–3);  $\operatorname{tg} \rho = \mu$  — коэффициент трения.

Важным этапом сборки является затяжка резьбового соединения, от качества которой зависит надежность работы соединения. Затяжку осуществляют приложением внешнего крутящего момента, ударно-вращательными импульсами и приложением осевых сил.

При сборке соединений с приложением внешнего крутящего момента ( $H \cdot m$ )

$$M_{\text{зат}} = Q(0,5 d_2 \mu_p + R_T \mu_T),$$

где  $Q$  – сила затяжки, Н;  $d_2$  – средний диаметр резьбы, м;  $\mu_p = \text{tg}(\alpha + \rho')$ ;  $\rho' = \arctg \mu'$  – угол

трения в резьбе;  $\mu' = \mu / \cos \frac{\beta}{2}$  – приведенный коэффициент трения в резьбе;  $\mu$  – коэффициент трения фрикционной пары болт – гайка;  $\beta$  – угол наклона боковой стороны резьбы;  $R_T$  – радиус трения гайки (головки винта или опорного бурта шпильки), м;  $\mu_T$  – коэффициент трения по опорной поверхности гайки. Величина  $R_T$  зависит от формы торца. Для плоского кольцевого торца

$$R_T = \frac{D^3 - d_0^3}{3(D^2 - d_0^2)},$$

где  $D$  – диаметр опорной поверхности гайки (головки винта, опорного бурта шпильки);  $d_0$  – диаметр отверстия под болт.

Сила затяжки (Н) с учетом напряженного состояния болта

$$Q = \frac{\nu \sigma_T F}{\sqrt{1 + 0,75 \left[ d_2 \frac{F}{W_p} \text{tg}(\alpha + \rho') \right]^2}},$$

где  $\sigma_T$  – предел текучести материала болта, Па;  $F$  – площадь сечения болта, м<sup>2</sup>;  $W_p$  – полярный момент сопротивления сечения болта, м<sup>3</sup>;  $\nu = 0,5 \dots 0,7$ . Значения коэффициентов трения  $\mu_p$  и  $\mu_T$  для некоторых случаев приведены в табл. 1.

Необходимый крутящий момент (Н·м) при завинчивании резьбовых соединений с натягом, например при поставке шпилек в корпус,

$$M_{\text{кр}} \approx 3,11 N_3 \mu l d \frac{E_d}{1,3 + 0,7 \frac{E_d}{E_{\text{ш}}}},$$

где  $N_3 = N - 1,2 (Rz_{\text{ш}} + Rz_d)$  – эффективный натяг по среднему диаметру резьбы, м;  $N$  – расчетный натяг по среднему диаметру резьбы, м;  $Rz_{\text{ш}}$  и  $Rz_d$  – максимальная высота микронеровностей резьб шпильки и детали, для шлифованной резьбы равная  $(6 \dots 10) \cdot 10^{-6}$  м;  $\mu$  – коэффициент трения (при стальной шпильке равный 0,1...0,2 для стальной детали; 0,07...0,15 для чугуновой; 0,04...0,1 для детали из алюминиевого сплава или бронзы);  $l$  – глубина завинчивания шпильки, м;  $d$  – наружный диаметр шпильки, м;  $E_{\text{ш}}$  и  $E_d$  – соответственно модули упругости материала шпильки и детали, Па.

Для сборки резьбовых соединений с приложением крутящего момента используют ключи, отвертки и механизированный инструмент. Основные виды ключей изготавливают в соответствии с ГОСТами: гаечные с открытым

### 1. Значения коэффициентов трения $\mu_p$ и $\mu_T$

Покрытие болтов и гаек	Смазочный материал			
	Без смазочного материала	Индустриальное масло по ГОСТ 20799–88 (в ред. 2001 г.)	Солидол по ГОСТ 4366–76 (в ред. 1991 г.)	Индустриальное масло с добавкой 20 % MoS <sub>2</sub>
Без покрытия	<u>0,32...0,52</u> 0,14...0,24	<u>0,19...0,24</u> 0,10...0,14	<u>0,16...0,21</u> 0,11...0,14	<u>0,11...0,15</u> 0,07...0,10
Оксидирование	<u>0,50...0,84</u> 0,20...0,43	<u>0,39...0,51</u> 0,19...0,29	<u>0,37...0,49</u> 0,19...0,29	<u>0,15...0,21</u> 0,07...0,11
Фосфатирование	<u>0,15...0,23</u> 0,09...0,12	<u>0,15...0,20</u> 0,10...0,13	<u>0,15...0,19</u> 0,09...0,13	<u>0,14...0,17</u> 0,07...0,10
Цинкование	<u>0,24...0,48</u> 0,07...0,10	<u>0,15...0,20</u> 0,09...0,12	<u>0,14...0,19</u> 0,08...0,11	<u>0,14...0,19</u> 0,06...0,09
Кадмирование	<u>0,24...0,32</u> 0,12...0,24	<u>0,15...0,25</u> 0,05...0,15	<u>0,15...0,22</u> 0,05...0,13	<u>0,11...0,15</u> 0,04...0,07

Примечания: 1. При затяжке гайковертами вращательного действия значения  $\mu_p$  и  $\mu_T$  следует уменьшить на 10 %.

2. В числителе приведены коэффициенты  $\mu_p$ , в знаменателе –  $\mu_T$ .

зевом (ГОСТ 2841–80 (в ред. 1992 г.), ГОСТ 2839–80 (в ред. 1986 г.), ГОСТ 3108–71 (в ред. 1980 г.)), торцовые (ГОСТ 11737–93, ГОСТ 24372–80), кольцевые (ГОСТ 2906–80 (в ред. 1986 г.), ГОСТ 18828–73 (в ред. 1980 г.)), рожковые (ОСТ 2 И90-2–87), для круглых шлицевых гаек (ГОСТ 16984–79 (в ред. 1985 г.), ГОСТ 16985–79 (в ред. 1985 г.)), гаечные комбинированные (ГОСТ 16983–80 (в ред. 1986 г.)). Кроме указанных применяют ключи специального назначения. Отвертки используют для завинчивания винтов и шурупов с головками, снабженными шлицем. Обыкновенные отвертки стандартизированы (ГОСТ 10754–80, ГОСТ 24437–80).

К механизированному инструменту относят гайковерты, винтоверты, шпильковерты, шуруповерты и др.

Требуемую затяжку получают следующими способами: 1) ограничением крутящего момента; 2) поворотом гайки на заданный угол; 3) непрерывным измерением отношения приращения прикладываемого момента  $\Delta M_{\text{зат}}$  к приращению соответствующего угла  $\Delta\theta$  поворота гайки; 4) измерением удлинения болта или шпильки; 5) с помощью контроля деформации промежуточных деталей.

Наиболее широкое распространение имеет первый способ. При ручной сборке для этого применяют динамометрические и предельные ключи; при механизированной и автоматизированной сборке – встраиваемые предельные фрикционные, кулачковые и другие муфты. Максимальные и минимальные силы затяжки

$$Q_{\text{max}} = \frac{M_{\text{зат max}}}{0,5 d_2 \mu_{\text{p min}} + R_T \mu_{\text{T min}}};$$

$$Q_{\text{min}} = \frac{M_{\text{зат min}}}{0,5 d_2 \mu_{\text{p max}} + R_T \mu_{\text{T max}}}.$$

Максимальный момент определяют по условиям прочности болта

$$M_{\text{зат max}} \leq \frac{v \sigma_T F (0,5 d_2 \mu_{\text{p min}} + R_T \mu_{\text{T min}})}{\sqrt{1 + 0,75 \left( d_2 \frac{F}{W_p} \mu_{\text{p max}} \right)^2}},$$

а минимальный – из условия нераскрытия стыка

$$M_{\text{зат min}} = 0,5 F \sigma_T (0,5 d_2 \mu_{\text{p max}} + R_T \mu_{\text{T max}}).$$

Минимальные и максимальные коэффициенты трения приведены в табл. 1. Относи-

тельная неравномерность затяжки составляет 0,1...0,16.

При затяжке с поворотом гайки для обеспечения плотности в стыках гайку затягивают обычным ключом, затем ее отвертывают на несколько витков и вновь ивертывают до соприкосновения торца с опорной поверхностью. После этого гайку поворачивают на определенный угол  $\theta$  с помощью градуированного диска. Значение угла  $\theta$  определяют в зависимости от требуемой затяжки

$$\theta = 360 \frac{QL}{P} \left( \frac{1}{E_6 F_6} + \frac{1}{E_d F_d} \right),$$

где  $L$  – длина болта или шпильки между опорными поверхностями;  $E_6$  и  $E_d$  – соответственно модуль упругости материала болта или шпильки и скрепляемых деталей;  $F_6$  и  $F_d$  – соответственно площадь сечения болта или шпильки и скрепляемых деталей. Достижимая относительная неравномерность затяжки составляет 0,14...0,22. Этот способ непригоден для коротких болтов и шпилек ( $L \leq 6d$ ) из-за больших погрешностей.

При третьем способе затяжку соединения прекращают при достижении значения

$$\frac{\Delta M_{\text{зат}}}{\Delta\theta} = 0,5 \left( \frac{\Delta M_{\text{зат}}}{\Delta\theta} \right)_{\text{max}}$$

где  $\Delta M_{\text{зат}}$  – приращение момента затяжки;  $\Delta\theta$  – приращение соответствующего угла поворота гайки.

Использование данного способа позволяет значительно повысить долговечность соединения (при низких нагрузках на 67 %, при высоких – на 15 %).

При затяжке резьбового соединения удлинение болта или шпильки

$$\lambda_{\text{зат}} = \frac{QL}{E_6 F_6}.$$

Для коротких болтов ( $L \leq 6d$ ) учитывают также деформацию болта в пределах резьбы (к расчетной длине добавляют 1/3 высоты гайки), а для коротких шпилек – деформацию стержня шпильки в пределах длины отвертывания. Данный способ применяют в основном для сборки ответственных резьбовых соединений. Удлинение болта или шпильки измеряют с помощью микрометра или индикатора. Относительная неравномерность затяжки 0,05...0,07.

При затяжке резьбового соединения с помощью деформации промежуточных деталей применяют индикаторные кольца, шайбы и мерные прокладки.

Сборку резьбовых соединений с применением ударно-вращательных импульсов осуществляют с помощью ударных гайковертов. Ударные гайковерты имеют высокую производительность, небольшие размеры, пригодны для сборки соединений больших размеров (практически отсутствует реактивный момент). Их используют при моментах затяжки свыше 50 Н·м. По виду привода гайковерты бывают электрические, пневматические и гидравлические.

Затяжку резьбового соединения контролируют по моменту, углу поворота гайки, деформации деталей стыка и энергетическими способами (дозированием потребляемой энергии, фиксированием времени затяжки или числа ударов). Наиболее эффективными являются энергетические способы, которые обеспечивают точность по силе затяжки  $\pm 10\%$ .

Сборку резьбовых соединений с применением осевых сил используют при больших диаметрах резьб и осуществляют растяжением болта с одновременным сжатием стыка или предварительным температурным удлинением. После растяжения болта (шпильки) и сжатия собираемых деталей гайку свободно навинчивают на болт (шпильку) до соприкосновения с собираемой деталью и снимают технологическую нагрузку  $Q_T$ . Сила затяжки при этом

$$Q = \frac{Q_T (\lambda_b + \lambda_d) + \Delta_k + \Delta_p}{\lambda_b + \lambda_d},$$

где  $\lambda_b$  и  $\lambda_d$  — соответственно податливость болта и стягиваемых деталей;  $\Delta_k$  — контактные перемещения опорной поверхности гайки;  $\Delta_p$  — перемещения в резьбовой паре;  $Q_T$  — технологическая нагрузка, создаваемая специальными приспособлениями (в основном объемными гидравлическими домкратами).

При сборке с помощью удлинения болта применяют электрические нагреватели в виде стержней, вставленных в отверстия болтов. Температура нагрева

$$\Delta t = \frac{Q (\lambda_b + \lambda_d)}{\alpha_l L_b},$$

где  $\alpha_l$  — коэффициент линейного расширения болта;  $L_b$  — длина, на которой нагревается болт.

Данный способ сборки используют в труднодоступных местах и при малой податливости соединяемых деталей. В целях увеличения точности сборки к резьбовому соединению наряду с осевыми силами прикладывают и крутящий момент.

При сборке соединений, имеющих большое число резьбовых деталей, особое внимание нужно обращать на последовательность (рис. 2) и постепенность их затяжки.

Для обеспечения герметичности более тщательно обрабатывают резьбу и торцовые поверхности, а также используют прокладки из легкодеформируемого материала (отожженной меди, паронита и т.п.). Резьбу заглушек (если их при разборке не вывертывают) уплотняют беллами или суриком.

Стопорение резьбовых соединений осуществляют контргайкой, осевым стопором в разрезной части гайки или заглушки, радиальным стопором, ввинчиваемым в гайку, разводным шплинтом, пружинными шайбами, деформируемой шайбой, проволокой.

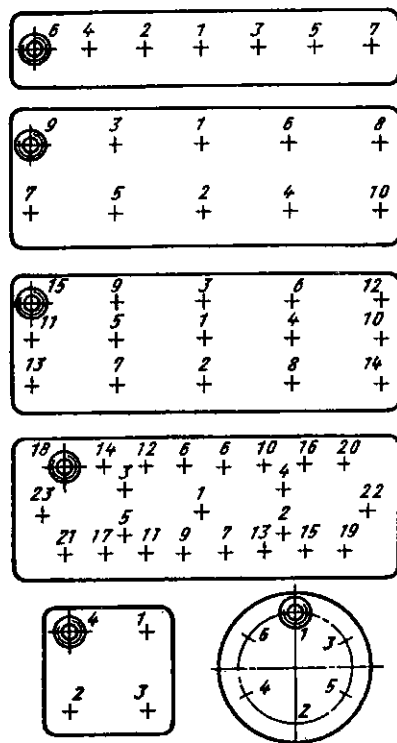


Рис. 2. Схема последовательности затягивания гаек

В *шпоночных соединениях* применяют клиновые, призматические и сегментные шпонки. Требуемая точность сборки шпоночных соединений обеспечивается изготовлением их элементов с допусками. Вследствие того, что посадки в пазах вала и охватываемой детали различны, размеры шпонок выполняют в системе вала.

При неподвижных соединениях шпонку в паз вала устанавливают по посадке с натягом, а в паз охватываемой детали по посадке с зазором. Шпонку в паз охватываемой детали устанавливают плотно в тех случаях, когда охватываемая деталь, передавая крутящий момент, должна свободно перемещаться вдоль вала. При посадке охватываемой детали на вал она должна центрироваться по шейке последнего, а между верхней плоскостью шпонки и впадиной паза в охватываемой детали должен быть достаточный зазор. Неподвижные шпонки запрессовывают в паз вала прессом или струбицей.

Шпоночное соединение после сборки контролируют следующими способами: установлением биеия охватываемой детали; покачиванием охватываемой детали на валу; перемещением охватываемой детали вдоль вала.

В зависимости от посадки центрирующих поверхностей *шлицевые соединения* бывают подвижные, легкоразъемные и тугоразъемные.

При сборке легкоразъемных и подвижных шлицевых соединений охватываемые детали устанавливают на охватываемые, используя небольшие силы. Так как в таких соединениях имеются зазоры, то после сборки охватываемые детали проверяют покачиванием. В правильно собранном соединении покачивание недопустимо.

При тугоразъемных шлицевых соединениях для запрессовки охватываемой детали используют специальные приспособления. Для

очень тугих соединений применяют нагрев охватываемой детали до 80...120 °С. После сборки проверяют биеие охватываемой детали.

Нужный натяг и плотность в *коническом соединении* получают напрессовкой охватываемого конуса на охватываемый. Сила запрессовки при небольшой конусности сопрягаемых поверхностей

$$P_{\text{зап}} = pF(\text{tg } \varphi + \text{tg } \alpha),$$

где  $p$  – контактное напряжение (числовое значение в зависимости от натяга определяют по формуле, приведенной далее);  $F$  – площадь поверхности контакта в коническом соединении;  $\varphi$  – угол трения;  $\text{tg } \varphi$  – коэффициент трения при запрессовке (табл. 2);  $\alpha$  – угол конуса.

Сила распрессовки

$$P_{\text{расп}} = pF'(\text{tg } \varphi' - \text{tg } \alpha),$$

где  $\text{tg } \varphi'$  – коэффициент трения при распрессовке (табл. 2).

При небольших значениях угла  $\alpha$  и использовании обычных способов сборки могут возникать большие радиальные силы, вызывающие остаточные деформации деталей. В связи с этим при сборке конических соединений для запрессовки используют тарированный удар с помощью специальных приспособлений или применяют пресс, имеющий соответствующее устройство для обеспечения стабильности силы  $P_{\text{зап}}$ .

Глубина запрессовки в зависимости от натяга  $N$

$$h = \frac{N}{2 \text{tg } \alpha}.$$

При сборке конических соединений, затягиваемых гайкой, применяют предельные и динамометрические ключи или контролируют глубину  $h$ .

## 2. Коэффициент трения

Условия сопряжения (конусность 1 : 15, $\text{tg } \alpha = 0,033$ , соединения без шпонки)	$\text{tg } \varphi$	$\text{tg } \varphi'$
Охватываемая и охватываемая детали стальные: поверхности пригнаны шабрением, сборка со смазочным материалом то же, без смазочного материала	0,152	0,18
	0,162	0,185
Охватываемая деталь из латуни, охватываемая из стали: поверхности пригнаны шабрением, сборка со смазочным материалом то же, без смазочного материала поверхности обработаны резцом ( $R_z = 10...40$ мкм), сборка со смазочным материалом	0,178	0,23
	0,187	–
	0,210	0,30

## СБОРКА НЕПОДВИЖНЫХ НЕРАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Для сборки *прессовых соединений* с гарантированным натягом применяют следующие способы: механический, гидропрессовый и температурных деформаций.

При механическом способе сборки охватываемая деталь запрессовывается в охватывающую в продольном направлении при 20 °С. Этот способ применяют в основном при небольших натягах (до 0,001*d*).

Сила запрессовки, Н

$$P_{\text{зап}} = f_n p \pi d L,$$

где  $f_n$  – коэффициент трения при запрессовке (табл. 3);  $d$  – номинальный диаметр поверхности сопряжения, м;  $L$  – длина запрессовки, м;  $p$  – напряжения сжатия на контактной поверхности, Па:

$$p = \frac{N_{\text{max}} - \gamma}{d \left( \frac{c_1}{E_1} + \frac{c_2}{E_2} \right)},$$

где  $N_{\text{max}}$  – максимальный натяг, м;  $\gamma = 1,2 (R_{z1} + R_{z2}) \approx 5 (Ra_1 + Ra_2)$ ;  $R_{z1}$  и  $R_{z2}$  – высота неровностей сопрягаемых поверхностей соответственно охватываемой и охватывающей деталей, м;  $Ra_1$  и  $Ra_2$  – средние арифметические отклонения профилей сопрягаемых поверхностей соответственно охватываемой и охватывающей деталей, м;  $E_1$  и  $E_2$  – модули упругости материала соответственно охватываемой и охватывающей деталей, Па;

$$c_1 = \frac{d^2 + d_0^2}{d^2 - d_0^2} - \mu_1; \quad c_2 = \frac{D^2 + d^2}{D^2 - d^2} + \mu_2,$$

где  $d_0$  – диаметр центрального отверстия охватываемой детали (вала), м;  $D$  – наружный диаметр охватывающей детали (втулки), м;  $\mu_1$  и  $\mu_2$  – коэффициенты Пуассона материалов охватываемой и охватывающей деталей.

Значения  $c_1$  и  $c_2$  с учетом коэффициентов Пуассона  $\mu_1$  и  $\mu_2$  приведены в табл. 4.

### 3. Коэффициенты трения при запрессовке

Материя охватывающей детали (для охватываемой – сталь)	Смазочный материя	Коэффициент трения
Сталь	Машинное масло	0,06...0,22
Чугун	Без смазочного материала	0,06...0,14
Магниеые и алюминииые сплавы	То же	0,02...0,08
Латуиь	»	0,05...0,10
Пластмассы	»	0,54

### 4. Коэффициенты $c_1$ и $c_2$

$d_0/d$ для $c_1$ , $d/D$ для $c_2$	$c_1$			$c_2$		
	Сталь	Бронза	Чугун	Сталь	Бронза	Чугун
0,00	0,70	0,67	0,75	1,30	1,33	1,25
0,10	0,72	0,69	0,77	1,32	1,35	1,27
0,20	0,78	0,75	0,83	1,38	1,41	1,33
0,30	0,89	0,86	0,94	1,49	1,52	1,44
0,40	1,08	1,05	1,13	1,68	1,71	1,63
0,45	1,21	1,18	1,26	1,81	1,84	1,76
0,50	1,37	1,34	1,42	1,95	2,00	1,92
0,55	1,57	1,54	1,62	2,17	2,20	2,12
0,60	1,83	1,80	1,88	2,43	2,46	2,38
0,65	2,17	2,14	2,22	2,77	2,80	2,72
0,70	2,62	2,59	2,67	3,22	3,25	3,17
0,75	3,28	3,25	3,33	3,84	3,87	3,79
0,80	4,25	4,22	4,30	4,85	4,88	4,80
0,85	5,98	5,95	6,03	6,58	6,61	6,53
0,90	9,23	9,20	9,28	9,83	9,86	9,78
0,95	18,70	18,67	18,75	19,30	19,33	19,25

Примечание. Если охватываемая деталь выполнена в виде сплошного вала, принимают  $d_0 = 0$ ,  $d_0/d = 0$ . Если охватывающая деталь выполнена в виде плиты, корпуса, принимают  $d/D = 0$ .

Сила распрессовки превышает силу запрессовки на 10...15%. На эти силы значительно влияет угол фаски запрессовываемой детали — наименьшие силы получаются при угле фаски  $\psi = 10^\circ$ . При увеличении угла фаски силы запрессовки возрастают, а силы распрессовки уменьшаются. Для уменьшения силы запрессовки и повышения прочности соединения применяют смазочный материал (растительное или индустриальное масло). Скорость запрессовки не превышает 5...7 м/с. Наибольшая прочность получается при малых скоростях (до 3 м/с). При запрессовке с вибрационно-импульсным воздействием по сравнению с обычным способом запрессовки прочность соединения увеличивается, особенно при большой шероховатости поверхностей сопряжения.

В качестве оборудования для запрессовки и распрессовки применяют прессы (табл. 5).

Мощность прессов выбирают по силе запрессовки с коэффициентом запаса 1,5...2,0. Для правильного направления деталей при запрессовке применяют приспособления, исполнение которых зависит от конструкции собираемой сборочной единицы. Некоторые схемы запрессовки приведены на рис. 3.

При сборке прессовых соединений с гарантированным натягом наружный диаметр охватывающей детали увеличивается, а внутренний диаметр охватываемой детали уменьшается. Увеличение наружного диаметра охватывающей детали  $\lambda_D$  и уменьшение внутреннего диаметра охватываемой детали  $\lambda_{d_0}$  определяют по формулам

$$\lambda_D = \frac{2pd^2D}{E_2(D^2 - d^2)}; \quad \lambda_{d_0} = \frac{2pd^2d_0}{E_1(d^2 - d_0^2)}$$

### 5. Прессы для сборки прессовых соединений

Прессы	Требуемая сила запрессовки, в кН					
	До 15	15...35	35...70	70...150	150...800	Св. 800
Пневматические:						
с диафрагменной камерой	+	—	—	—	—	—
одинарный прямого действия	+	+	—	—	—	—
сдвоенный прямого действия	—	+	+	—	—	—
рычажный	—	+	+	+	—	—
Гидравлический	—	—	—	+	+	+
Пневмогидравлический	—	—	+	+	+	—
Ударно-импульсный	+	+	+	—	—	—
Электромагнитный	+	—	—	—	—	—
Механический	+	+	+	+	+	—

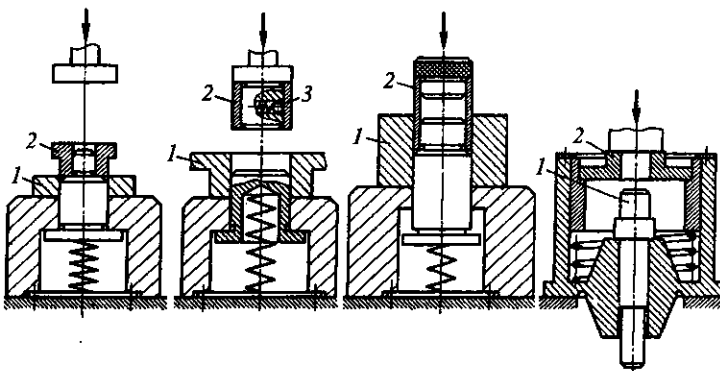


Рис. 3. Схемы запрессовки деталей:

1 — охватывающая деталь; 2 — охватываемая деталь; 3 — шарик

Качество прессовых соединений с натягом контролируют по силе запрессовки. При сборке ответственных соединений снимают диаграмму изменения силы запрессовки.

Для механического способа запрессовки характерны недостатки: 1) невозможность использования эффективных антикоррозионных покрытий; 2) значительное рассеяние силы запрессовки и распрессовки; 3) возможность повреждения сопрягаемых поверхностей. Преимущество – высокая производительность.

Прессовый способ сборки осуществляют путем нагнетания масла в зону соединения (рис. 4). Давление масла должно превышать среднее контактное давление на сопрягаемых поверхностях. При этом сборка соединения происходит с силами в 10...15 раз меньше, чем при механической запрессовке. Для равномерного распределения масла на сопрягаемых поверхностях в охватывающей или охватываемой детали делают кольцевую маслораспределительную канавку. С целью предотвращения коррозии сопрягаемых поверхностей нужно применять очищенные нейтральные сорта масла.

Сборку с помощью температурных деформаций осуществляют нагревом охватывающей детали, охлаждением охватываемой детали

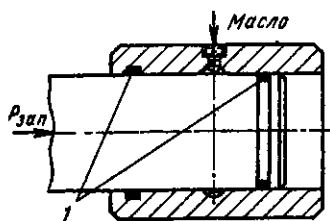


Рис. 4. Схема сборки цилиндрического соединения путем нагнетания масла: 1 – уплотнительные кольца

и комбинированным способом (охлаждением охватываемой и нагревом охватывающей).

Температура нагрева охватывающей детали

$$t_n \approx \frac{N_{\max} + S_{сб}}{\alpha d} + t_{сб},$$

где  $S_{сб}$  – необходимый зазор при сборке, мм;  $S_{сб}$  принимают равным  $S_{\min}$  при посадке Н/г;  $\alpha$  – коэффициент линейного расширения при нагреве (табл. 6);  $t_{сб}$  – температура в сборочном помещении, °С;  $d$  – диаметр поверхности сопряжения, мм.

Для компенсации охлаждения детали во время переноса детали из нагревающего устройства на сборочную позицию найденное значение  $t_n$  увеличивают на 20...30 %. Температура нагрева не выше 400 °С. Прочность соединения значительно больше, чем при механическом способе сборки.

Нагрев деталей осуществляют в кипящей воде ( $t_n \leq 100$  °С), в масляных ваннах (110...130 °С), индукционным методом, в камерных электропечах, с помощью горелок и т.п. Более равномерный нагрев достигается в жидкостной среде. Для нагрева крупногабаритных охватывающих деталей используют переносимые электроспиральи, устанавливаемые в отверстие детали. При некачественном нагреве могут появиться окалина, коробление, измениться структура материала.

Температура охлаждения охватываемой детали

$$t_o \approx t_{сб} - \frac{N_{\max} + S_{сб}}{\alpha d},$$

где  $\alpha$  – коэффициент линейного сжатия при охлаждении (табл. 6).

## 6. Коэффициенты линейного расширения и сжатия

Материал	$\alpha, 1 \text{ } ^\circ\text{C} \times 10^6$	
	расширения	сжатия
Сталь углеродистая и низколегированная	11,0	8,5
Серый чугун	10,0	8,6
Ковкий чугун	10,0	8,0
Медь	16,0	14,4
Бронза оловянистая	17,0	15,0
Латунь	18,0	16,7
Алюминиевые сплавы	23,0	18,6
Магниеые сплавы	26,0	21,0



Температура охлаждения охватываемой детали может колебаться от нескольких десятков градусов до температуры кипения жидкого азота ( $-196^\circ\text{C}$ ). Для получения температуры до  $-70^\circ\text{C}$  используют холодильное оборудование. Температуру ниже  $-70^\circ\text{C}$  можно создать в специальных холодильных установках с готовыми хладоносителями, получаемыми со стороны. На практике применяют такие хладоносители: сухой лед (температура испарения  $-79^\circ\text{C}$ ), сухой лед со спиртом (температура испарения около  $-100^\circ\text{C}$ ), жидкий азот (температура испарения  $-196^\circ\text{C}$ ).

При использовании холода сохраняются исходная структура и физико-механические свойства материала соединяемых деталей, получаются меньшие деформации, а время охлаждения охватываемой детали (особенно тонкостенной) меньше, чем время нагрева охватывающей. В связи с этим тонкостенные втулки целесообразно устанавливать в массивные корпуса. Однако данный способ может быть использован только для соединений с относительно небольшими натягами. Примерные значения натягов, при которых целесообразно использовать способ охлаждения охватываемой детали представлены в табл. 7.

Комбинированное соединение используют в тех случаях, когда нужно получить большие натяги.

Когда охватывающая и охватываемая детали изготовлены из различных материалов, имеющих неодинаковые механические и физические свойства, температура нагрева (или охлаждения) сопряженных деталей при сборке или в процессе эксплуатации не должна превышать

$$t = \frac{pd \left( \frac{c_1}{E_1} + \frac{c_2}{E_2} \right) - N}{d(\alpha_1 - \alpha_2)} + t_c,$$

где  $p$  – меньшее из допустимых контактных давлений ( $p_1$  и  $p_2$ ) на сопрягаемых поверхностях охватываемой и охватывающей деталей:

### 7. Значения натягов

Диаметр охватываемой поверхности, мм	Натяг, мкм
30...40	10...27
40...60	15...33
60...100	20...53
100...150	25...80
150...200	50...125

$$p_1 = 0,58 \sigma_{T_1} \left[ 1 - \left( \frac{d_0}{d} \right)^2 \right];$$

$$p_2 = 0,58 \sigma_{T_2} \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^2 \right],$$

$\sigma_{T_1}$  и  $\sigma_{T_2}$  – пределы текучести материалов охватываемой и охватывающей деталей;  $N$  – расчетный натяг;  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – коэффициенты линейного расширения материалов охватываемой и охватывающей деталей;  $t_c$  – температура окружающей среды; остальные обозначения те же, что в приведенных выше формулах.

Для разборки прессовых соединений применяют различные съемники, прессы, пневматические, гидравлические и пневмогидравлические приспособления. С целью уменьшения силы распрессовки и износа контактных поверхностей деталей применяют гидропрессовый способ разборки.

Вальцованные и завальцованные соединения применяют для плотного и герметичного соединения деталей. Для этого используют вальцевание, отбортовку, раздачу, осадку, формовку и обжатие.

Развальцовку осуществляют на сверлильных и специальных станках, а также вручную. В качестве инструмента применяют пуансоны различной формы, роликовые и шариковые вальцовки. Скорость вальцевания 15...20 м/мин. Для получения особо плотного соединения применяют планетарные вальцовки.

Трубки небольшого диаметра развальцовывают на конус или отторгивают осадкой или обкаткой конусным пуансоном. Усилие осадки ( $H$ )

$$P_0 = k_0 \frac{D^2 - d^2}{4} \frac{D_1}{D} \sigma_T,$$

где  $k_0$  – коэффициент (равный 4,5 для медных трубок; 5,5 для стальных);  $D$  и  $d$  – соответственно наружный и внутренний диаметры трубки (рис. 5), м;  $D_1$  – диаметр развальцованного торца трубки, м;  $\sigma_T$  – предел текучести материала трубки, Па.

Развальцовку осадкой выполняют на пневматических установках.

Усилие отторжки ( $H$ )

$$P_{отб} = k_{отб} \frac{D^2 - d^2}{4} \frac{D_1}{D} \sigma_T,$$

где  $k_{отб}$  – коэффициент (равный 5,7 для медных трубок; 7,8 – для стальных); степень деформации конца трубки  $D_1 / D = 1,25...1,8$ .

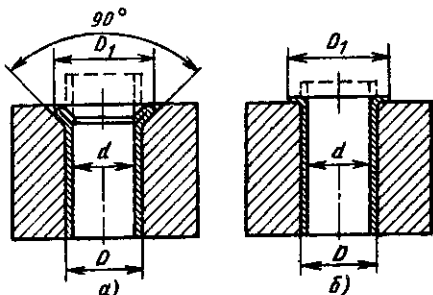


Рис. 5. Схемы осадки (а) и отбортовки (б) труб

Когда нужно получить неподвижное соединение втулки с корпусом, применяют раскатку. При этом втулку запрессовывают с небольшим натягом и раздают роликами до требуемого размера. Припуск на раскатку 0,04...0,06 мм (для втулок диаметром 50 мм); частота вращения роликов 90...120 мин<sup>-1</sup>.

Обжатие одной из сопрягаемых деталей широко применяют для сборки мелких сборочных единиц при условии, что не требуется герметичности соединения.

**Клепанные соединения.** Применяют заклепки трубчатые, полутрубчатые и со сплошным стержнем. Материал заклепок – сталь, латунь, медь и алюминиевые сплавы.

Диаметр отверстия под заклепку подбирают в зависимости от диаметра заклепки стержня и точности сборки (ГОСТ 11284–75 (в ред. 1982 г.)). При совместной обработке отверстий в соединяемых деталях номинальный диаметр сквозного отверстия берут равным наибольшему предельному размеру диаметра стержня заклепки. Длина выступающей части стержня заклепки для образования замыкающей головки должна составлять 1,3...1,6, а для потайных – 0,9 диаметра стержня.

Для заклепок диаметром до 14...20 мм применяют холодную клепку. Усилие клепки (Н)

$$P = kd^{1,75} \sigma_b^{0,75},$$

где  $k$  – коэффициент (равный 28,6 для сферических головок; 26,2 – для потайных; 15,2 – для плоских; 4,33 – для полупустотелых и пустотелых заклепок);  $d$  – диаметр стержня заклепки, м;  $\sigma_b$  – временное сопротивление разрыву материала заклепки, Па.

Замыкающая головка может быть образована ударами, давлением и давлением с развальцовкой. Качество клепки ударами хуже. При ударной клепке замыкающую головку

образуют прямым или обратным способом клепки. При прямом способе склепываемые детали сжимают специальным инструментом.

При горячей клепке стальные детали нагревают до 1050...1100 °С, а заканчивают клепку при температуре 450...500 °С. Усилие клепки составляет 65...80 кН на 1 см<sup>2</sup> сечения стержня заклепки.

Для сборки клепанных соединений применяют пневматические, электромеханические, гидравлические и пневмогидравлические прессы прямого действия и механические клепальные машины. Для предварительного сжатия клепанных деталей и образования замыкающих головок заклепок применяют сменный инструмент – обжимки и подержки. Фиксацию деталей осуществляют центрирующими штифтами, вставками и с помощью специальных приспособлений.

Клепанные соединения в труднодоступных местах выполняют заклепками для односторонней клепки без поддержек.

Качество клепки проверяют внешним осмотром соединения и простукиванием заклепок. Размеры головок и их положение проверяют шаблонами, а прилегание – щупами.

**Сварные соединения** получают путем подготовки деталей под сварку; сборки деталей; сварки и контроля. Сборку перед сваркой осуществляют по предварительной разметке, по упорам или шаблонам и по контрольным отверстиям. Для сборки применяют сборочные и сборочно-сварочные приспособления, полуавтоматические и автоматические сварочные установки.

Качество сварных соединений контролируют в три этапа: предварительный контроль (проверка качества основного металла, сварочных материалов, деталей, поступающих на сборку, сборки деталей под сварку и т.д.); контроль за исполнением технологического процесса; контроль качества сварки в готовом изделии (внешний осмотр, испытание на плотность, методы дефекте- и рентгенокопии).

**Паяные соединения.** Температура плавления припоя должна быть ниже температуры плавления соединяемых материалов. По температуре плавления различают (ГОСТ 19248–90) припой: осолобогкоплавкие (до 145 °С); легкоплавкие (св. 145 до 450 °С); среднетемплавкие (св. 450 до 1100 °С); высокоплавкие (св. 1100 до 1850 °С) и тугоплавкие (св. 1850 °С). По виду полуфабриката – листовые, леиточные, трубча-

тые, пастообразные, проволочные, таблетированные, прутковые, фасонные, порошковые, формованные. По основному компоненту – оловянные, цинковые, серебряные, медные, титановые, кобальтовые и др. По способности к флюсованию припой подразделяют на флюсуемые и самофлюсующие.

Паяльные флюсы должны: 1) очищать поверхность основного материала и припоя от присутствующих на них окислов и защищать паяемое соединение от воздействия окружающей среды во время пайки; температура плавления флюса должна быть ниже температуры плавления припоя; 2) способствовать смачиванию поверхности основного материала расплавленным припоем. Флюсы не должны: 1) химически взаимодействовать с припоем (кроме случаев реактивно-флюсовой пайки); 2) способствовать активному развитию коррозии паяных соединений; 3) при нагреве не выделять токсических веществ.

В зависимости от температурного интервала активности паяльные флюсы подразделяют (ГОСТ 19250–73) на низкотемпературные (до 450 °С) и высокотемпературные (св. 450 °С). Низкотемпературные флюсы бывают канифольные, кислотные, галогенидные, гидразиновые, фторборатные, анилиновые, стеариновые, а высокотемпературные – галогенидные, фторборатные, боридно-углекислые. По агрегатному состоянию – твердые, жидкие и пастообразные. Флюс выбирают в зависимости от марки припоя и материала деталей, подлежащих пайке.

В зависимости от способа нагрева пайка бывает газовая, электрическая в печах, пайка погружением, ультразвуковая и т.п.

Типы и параметры паяных соединений устанавливает ГОСТ 19249–73 (в ред. 1981 г.). Качество паяных соединений зависит от правильного выбора основного материала, припоя, флюса, способа нагрева, типа соединения, способа скрепления элементов перед пайкой, сборочных зазоров. Когда пайку ведут с большими зазорами, применяют припой с наполни-

телями из металлических опилок. Температура плавления наполняющего металла должна быть выше температуры пайки.

Поверхности соединяемых деталей должны быть тщательно обезжирены и очищены от окислов и посторонних частиц. Во многих случаях соединяемые поверхности перед пайкой облуживают.

Контроль качества паяных соединений обычно осуществляют неразрушающими методами (по параметрам режимов пайки, визуальным методом, испытанием на герметичность, методами дефекте- и рентгеноскопии).

**Клеевые соединения.** Клеевое – неразъемное соединение частей изделия с помощью клея, наносимого на соприкасающиеся поверхности.

Клеи делятся на конструкционные (жесткие) и неконструкционные (эластичные).

Технологический процесс склеивания состоит из следующих основных операций: подготовка поверхностей склеиваемых деталей, подготовка клея, нанесение клея на склеиваемые поверхности, сушка (открытой выдержки) нанесенного клея перед сборкой соединяемых деталей, сборка деталей, запрессовка, отверждение клеевых швов (выдержка при определенной температуре и давлении в течение заданного времени), зачистка клеевых соединений, контроль качества соединения.

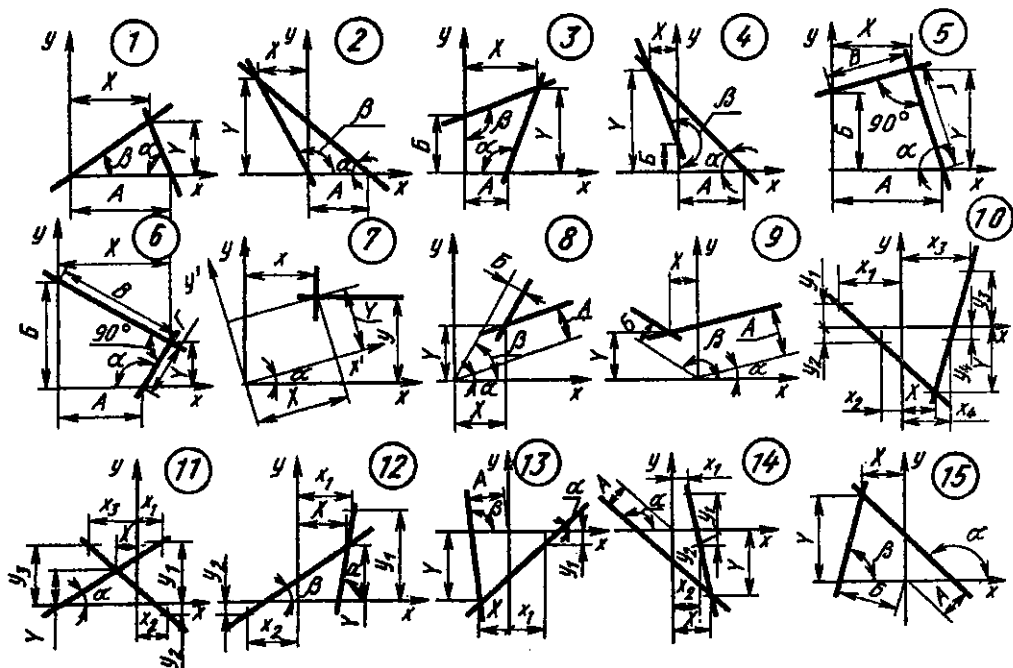
## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Замяткин В.К.** Технология и оснащение сборочного производства машиноприборостроения: Справ. М.: Машиностроение, 1995. 608 с.: ил.
2. **Машиностроение: Энциклопедия** / Ред. Совет: К.В. Фролов (пред.) и др. III-5: Технология сборки в машиностроении / А.А. Гусев, В.В. Павлов, А.Г. Андреев и др.; Под ред. Ю.С. Соломенцева. М.: Машиностроение, 2001. 640 с.: ил.
3. **Сварка. Резка. Контроль:** Справ.: В 2 т. / Под общ. ред. Н.П. Алешина, Г.Г. Чернышова. М.: Машиностроение, 2004.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ЗАГОТОВОК

### Координаты точки пересечения двух прямых



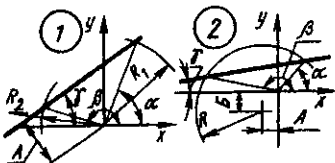
Номер эскиза	Величины		Порядок расчета и формулы (скобками выделены величины, полученные при расчете)
	заданные	определяемые	
1, 2	$A; \alpha; \beta$	$X; Y$	1) $X = \frac{A \operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta}$ ; 2) $Y = (X) \operatorname{tg} \beta$
3, 4	$A; B; \alpha; \beta$		1) $X = \frac{A \operatorname{tg} \alpha - B}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{ctg} \beta}$ ; 2) $Y = B - (X) \operatorname{ctg} \beta$
5, 6	$A; B; \alpha$	$B; X; \Gamma; Y$	1) $B = (A \operatorname{tg} \alpha - B) \cos \alpha$ ; 2) $X = (B) \sin \alpha$ ; 3) $\Gamma = (B \operatorname{tg} \alpha + A) \cos \alpha$ ; 3) $Y = \Gamma \sin \alpha$
7	$x; y; \alpha$	$X; Y$	1) $X = x \cos \alpha + y \sin \alpha$ ; 2) $Y = -x \sin \alpha + y \cos \alpha$

Продолжение таблицы

Номер эскиза	Величины		Порядок расчета и формулы (скобками выделены величины, полученные при расчете)
	заданные	определяемые	
8, 9	$A; B; \alpha; \beta$	$X; Y$	$1) X = \frac{\frac{A}{\cos \alpha} + \frac{B}{\cos \beta}}{\operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \alpha};$ $2) Y = (X) \operatorname{tg} \alpha + \frac{A}{\cos \alpha}$
10	$x_1; x_2;$ $x_3; x_4;$ $y_1; y_2;$ $y_3; y_4$		$1) X = \frac{\frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} x_1 - \frac{y_3 - y_4}{x_3 - x_4} x_3 - y_1 + y_3}{\frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} - \frac{y_3 - y_4}{x_3 - x_4}};$ $2) Y = \left( \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} \right) [(X) - x_1] + y_1$
11	$x_1; x_2;$ $x_3; y_1;$ $y_2; y_3;$ $\alpha$		$1) X = \frac{\frac{y_3 - y_2}{x_2 - x_3} x_3 + x_1 \operatorname{tg} \alpha + y_3 - y_1}{\frac{y_3 - y_2}{x_2 - x_3} + \operatorname{tg} \alpha};$ $2) Y = (X) \operatorname{tg} \alpha + y_1 - x_1 \operatorname{tg} \alpha$
12	$x_1; x_2;$ $y_1; y_2;$ $\alpha; \beta$		$1) X = \frac{x_1 \operatorname{tg} \alpha - x_2 \operatorname{tg} \beta + y_2 - y_1}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta};$ $2) Y = [(X) - x_1] \operatorname{tg} \alpha + y_1$
13	$A; x_1; y_1;$ $\alpha; \beta$		$1) X = \frac{x_1 \operatorname{tg} \alpha - y_1 - \frac{A}{\cos \beta}}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta};$ $2) Y = \operatorname{tg} \alpha [(X) - x_1] + y_1$
14	$A; x_1; x_2;$ $y_1; y_2; \alpha$		$1) X = \frac{\frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} x_1 - \frac{A}{\cos \alpha} - y_1}{\frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} - \operatorname{tg} \alpha};$ $2) Y = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} [(X) - x_1] + y_1$
15	$A; B;$ $\alpha; \beta$		$1) X = \frac{B \cos \alpha - A \cos \beta}{\sin(\beta - \alpha)};$ $2) Y = \frac{(X) \sin \alpha - A}{\cos \alpha}$

Продолжение таблицы

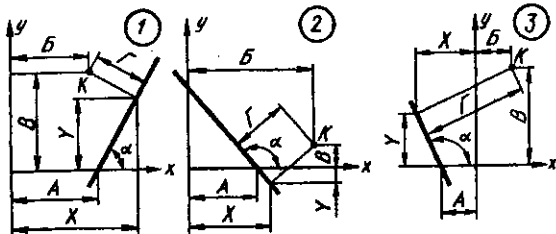
Угол  $\gamma$  наклона прямой, проходящей через концы заданных отрезков, и расстояние ее от начала координат



Здесь и далее в таблице  $Q_1, Q_2, \dots, Q_9$  — промежуточные расчетные величины

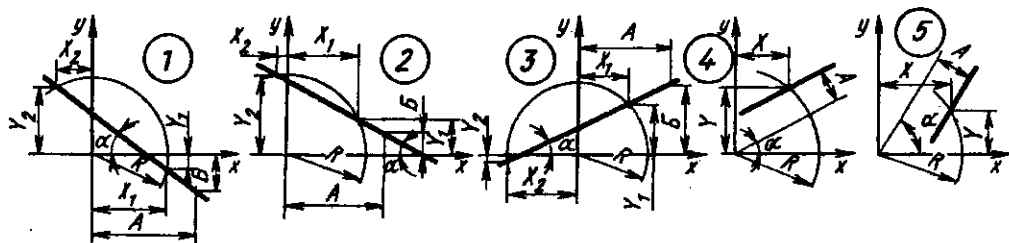
Номер эскиза	Величины		Порядок расчета и формулы
	заданные	определяемые	
1	$R_1; R_2;$ $0 \leq \alpha \leq 180^\circ;$ $0 \leq \beta \leq 180^\circ;$ $\alpha < \beta$	$A; \gamma$	1) $Q_1 = R_1 \cos \alpha$ ; 2) $Q_2 = R_1 \sin \alpha$ ; 3) $Q_3 = R_2 \cos \beta$ ; 4) $Q_4 = R_2 \sin \alpha$ ; 5) $\gamma = \arctg \frac{Q_2 - Q_4}{Q_1 - Q_3}$ . При отрицательном значении $\gamma$ угол считается образованным вращением прямой относительно оси $x$ по часовой стрелке. 6) $A = (Q_2 - Q_1 \operatorname{tg} \gamma) \cos \gamma$
2	$A; B; R;$ $\alpha; \beta$	$\gamma$	1) $Q_1 = 1 + \operatorname{tg}^2 \alpha$ ; 2) $Q_2 = A + B \operatorname{tg} \alpha$ ; 3) $Q_3 = A^2 + B^2 - R^2$ ; 4) $Q_4 = \frac{-Q_2 \pm \sqrt{Q_2^2 - Q_1 Q_3}}{Q_1}$ ; 5) $Q_5 = Q_4 \operatorname{tg} \alpha$ ; 6) $Q_6 = 1 + \operatorname{tg}^2 \beta$ ; 7) $Q_7 = A + B \operatorname{tg} \beta$ ; 8) $Q_8 = \frac{-Q_7 \pm \sqrt{Q_7^2 - Q_6 Q_3}}{Q_6}$ ; 9) $Q_9 = Q_8 \operatorname{tg} \beta$ ; 10) $\gamma = \arctg \frac{Q_5 - Q_9}{Q_4 - Q_8}$ . В п. 4 и 8 перед радикалом принимают знак "+", если $\alpha$ и $\beta < 90^\circ$ , и знак "-", если $\alpha$ и $\beta > 90^\circ$

Расстояние от заданной точки  $K$  до заданной прямой



Номер эскиза	Величины		Порядок расчета и формулы
	заданные	определяемые	
1, 2, 3	$A; B; B; \alpha$	$X; Y; \Gamma$	$1) X = \frac{A \operatorname{tg} \alpha + \frac{B}{\operatorname{tg} \alpha} + B}{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{ctg} \alpha}; \quad 2) Y = (X - A) \operatorname{tg} \alpha;$ $3) \Gamma = \sqrt{(B - Y)^2 + (B - X)^2}$

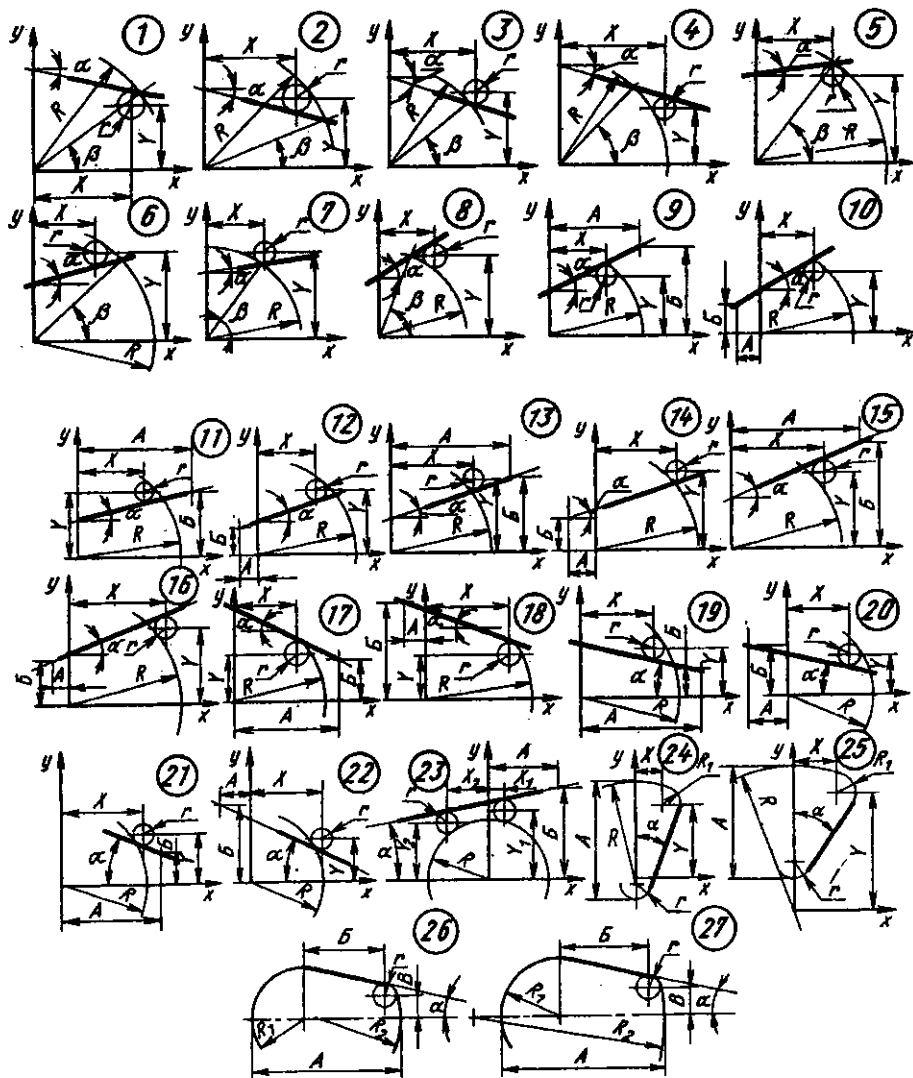
Определение координат точек пересечения прямой с дугой заданного радиуса  $R$



Номер эскиза	Величины		Порядок расчета и формулы
	заданные	определяемые	
1, 2			1) $Q_1 = B + A \operatorname{tg} \alpha$ ; 2) $Q_2 = Q_1^2 - R^2$ ; 3) $Q_3 = 1 + \operatorname{tg}^2 \alpha$ ; 4) $Q_4 = Q_1 \operatorname{tg} \alpha$ ; 5) $X_1 = \frac{Q_4 + \sqrt{Q_4^2 - Q_2 Q_3}}{Q_3}$ ; 6) $X_2 = \frac{Q_4 - \sqrt{Q_4^2 - Q_2 Q_3}}{Q_3}$ ; 7) $Y_1 = Q_1 - X_1 \operatorname{tg} \alpha$ ; 8) $Y_2 = X_2 \operatorname{tg} \alpha$
3	$A; B; R; \alpha$	$X_1; X_2;$ $Y_1; Y_2$	1) $Q_1 = 1 + \operatorname{tg}^2 \alpha$ ; 2) $Q_2 = (B - A \operatorname{tg} \alpha) \operatorname{tg} \alpha$ ; 3) $Q_3 = B^2 + A^2 \operatorname{tg}^2 \alpha - 2AB \operatorname{tg} \alpha - R^2$ ; 4) $X_1 = \frac{-Q_2 + \sqrt{Q_2^2 - Q_1 Q_3}}{Q_1}$ ; 5) $X_2 = \frac{-Q_2 - \sqrt{Q_2^2 - Q_1 Q_3}}{Q_1}$ ; 6) $Y_1 = (X_1 - A) \operatorname{tg} \alpha + B$ ; 7) $Y_2 = (X_2 - A) \operatorname{tg} \alpha + B$
4	$R; A; \alpha$	$X; Y$	1) $Q_1 = \alpha + \arcsin \frac{A}{R}$ ; 2) $X = R \cos Q_1$ ; 3) $Y = R \sin Q_1$
5			1) $Q_1 = \alpha - \arcsin \frac{A}{R}$ ; 2) $X = R \cos Q_1$ ; 3) $Y = R \sin Q_1$

Продолжение таблицы

Координаты центра сопряжения прямой с окружностью при заданном радиусе сопряжения



Номер эскиза	Величины		Порядок расчета и формулы
	заданные	определяемые	
1, 2	$R; r; \alpha; \beta$	$X; Y$	1) $Q_1 = R \sin(\alpha + \beta) \pm r$ ; 2) $Q_2 = \arcsin \frac{Q_1}{R-r}$ ; 3) $Q_3 = Q_2 - \alpha$ ; 4) $X = (R-r) \cos Q_3$ ; 5) $Y = (R-r) \sin Q_3$ . В уравнении п. 1 для эскиза 1 принимают знак "-", для эскиза 2 - знак "+"



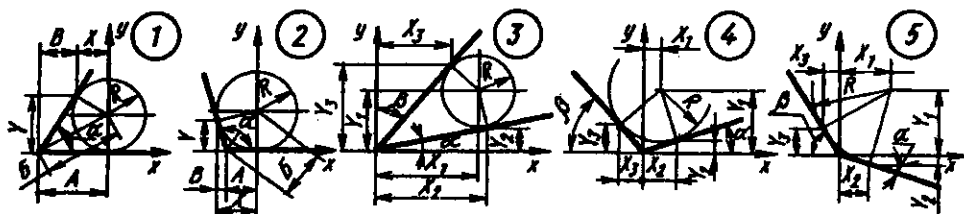
Продолжение таблицы

Номер эскиза	Величины		Порядок расчета и формулы
	заданные	определяемые	
3, 4	$R; r; \alpha; \beta$	$X; Y$	1) $Q_1 = R \sin(\alpha + \beta) \pm r$ ; 2) $Q_2 = \arcsin \frac{Q_1}{R-r}$ ; 3) $Q_3 = Q_2 - \alpha$ ; 4) $X = (R+r) \cos Q_3$ ; 5) $Y = (R+r) \sin Q_3$ .  В уравнении п. 1 для эскиза 3 принимают знак "+", для эскиза 4 – знак "-"
5, 6	$R; r; \alpha < \beta$		1) $Q_1 = R \sin(\beta - \alpha) \pm r$ ; 2) $Q_2 = \arcsin \frac{Q_1}{R-r}$ ; 3) $Q_3 = 90^\circ - \alpha - Q_2$ ; 4) $X = (R-r) \sin Q_3$ ; 5) $Y = (R-r) \cos Q_3$ .  В уравнении п. 1 для эскиза 5 принимают знак "-", для эскиза 6 – знак "+"
7, 8	$R; r; \alpha < \beta$		1) $Q_1 = R \sin(\beta - \alpha) \pm r$ ; 2) $Q_2 = \arcsin \frac{Q_1}{R-r}$ ; 3) $Q_3 = 90^\circ - \alpha - Q_2$ ; 4) $X = (R+r) \sin Q_3$ ; 5) $Y = (R+r) \cos Q_3$ .  В уравнении п. 1 для эскиза 7 принимают знак "+", для эскиза 8 – знак "-"
9, 10	$A; B; R; r; \alpha$		1) $Q_1 = B \cos \alpha - A \sin \alpha - r$ ; 2) $Q_2 = \arcsin \frac{Q_1}{R-r}$ ; 3) $Q_3 = Q_2 + \alpha$ ; 4) $X = (R-r) \cos Q_3$ ; 5) $Y = (R-r) \sin Q_3$
11, 12	$A; B; R; r; \alpha$		1) $Q_1 = B \cos \alpha - A \sin \alpha + r$ ; 2) $Q_2 = \arcsin \frac{Q_1}{R-r}$ ; 3) $Q_3 = Q_2 + \alpha$ ; 4) $X = (R-r) \cos \alpha$ ; 5) $Y = (R-r) \sin \alpha$
13, 14, 15, 16	$A; B; R; r; \alpha$		1) $Q_1 = B \cos \alpha - A \sin \alpha \pm r$ ; 2) $Q_2 = \arcsin \frac{Q_1}{R-r}$ ; 3) $Q_3 = Q_2 + \alpha$ ; 4) $X = (R+r) \cos Q_3$ ; 5) $Y = (R+r) \sin Q_3$ .  В уравнении п. 1 для эскизов 13 и 14 принимают знак "+", для эскизов 15 и 16 – знак "-"

Продолжение таблицы

Номер эскиза	Величины		Порядок расчета и формулы
	заданные	определяемые	
17, 18, 19, 20	$A; B;$ $R; r; \alpha$	$X; Y$	1) $Q_1 = B \cos \alpha + A \sin \alpha \pm r$ ; 2) $Q_2 = \arcsin \frac{Q_1}{R-r}$ ; 3) $Q_3 = Q_2 - \alpha$ ; 4) $X = (R-r) \cos Q_3$ ; 5) $Y = (R-r) \sin Q_3$ . В уравнении п. 1 для эскизов 17 и 18 принимают знак "-", для эскизов 19 и 20 - знак "+"
21, 22			1) $Q_1 = B \cos \alpha + A \sin \alpha + r$ ; 2) $Q_2 = \arcsin \frac{Q_1}{R+r}$ ; 3) $Q_3 = Q_2 - \alpha$ ; 4) $X = (R+r) \cos Q_3$ ; 5) $Y = (R+r) \sin Q_3$
23	$A; B; R;$ $0 \leq \alpha \leq 90^\circ$	$X_1; X_2;$ $Y_1; Y_2$	1) $Q_1 = B - A \operatorname{tg} \alpha - \frac{r}{\cos \alpha}$ ; 2) $Q_2 = (R+r)^2$ ; 3) $Q_3 = Q_1 \operatorname{tg} \alpha$ ; 4) $Q_4 = 1 + \operatorname{tg}^2 \alpha$ ; 5) $Q_5 = Q_1^2 + Q_2$ ; 6) $X_1 = \frac{-Q_3 + \sqrt{Q_3^2 - Q_4 Q_5}}{Q_4}$ ; 7) $X_2 = \frac{-Q_3 - \sqrt{Q_3^2 - Q_4 Q_5}}{Q_4}$ ; 8) $Y_1 = X_1 \operatorname{tg} \alpha + Q_1$ ; 9) $Y_2 = X_2 \operatorname{tg} \alpha + Q_1$
24, 25	$A; R; R_1; r;$ $\alpha$	$X; Y$	1) $Q_1 = 1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha$ ; 2) $Q_2 = \frac{R_1}{\sin \alpha} + R + r - A - \frac{r}{\sin \alpha}$ ; 3) $Q_3 = Q_2^2 - (R - R_1)^2$ ; 4) $X = \frac{-Q_2 \operatorname{ctg} \alpha + \sqrt{Q_2^2 \operatorname{ctg}^2 \alpha - Q_1 Q_3}}{Q_1}$ ; 5) $Y = X \operatorname{ctg} \alpha + Q_2$
26, 27	$A; R_1; R_2; r;$ $\alpha$	$B; B$	1) $Q_1 = \left( \frac{R_1 - r}{\sin \alpha} + R_1 + R_2 - A \right) \sin \alpha$ ; 2) $Q_2 = \arcsin \frac{Q_1}{R_2 - r}$ ; 3) $Q_3 = Q_2 - \alpha$ ; 4) $B = (R_2 - r) \cos Q_3 + A - R_1 - R_2$ ; 5) $B = (R_2 - r) \sin Q_3$

## Элементы сопряжения сторон угла с дугой заданного радиуса

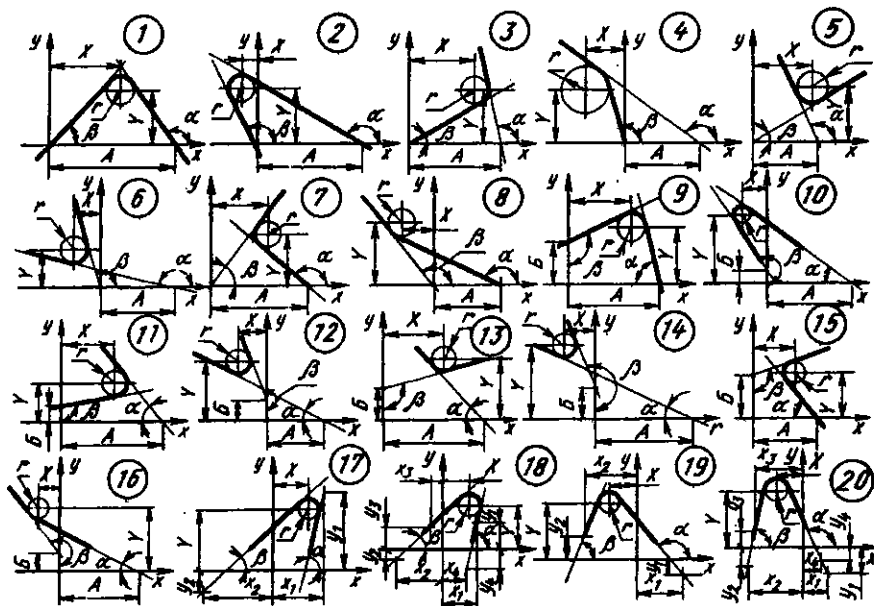


Номер эскиза	Величины		Порядок расчета и формулы
	заданные	определяемые	
1	$R;$ $\alpha < 90^\circ$	$A; B;$ $X; Y$	1) $A = R \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2};$ 2) $B = \frac{R}{\sin \frac{\alpha}{2}};$ 3) $X = R \sin \alpha;$ 4) $Y = R(1 + \cos \alpha)$
	$B;$ $\alpha < 90^\circ$	$R$	1) $R = \frac{B}{\cos \alpha} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$
	$Y;$ $\alpha < 90^\circ$		1) $R = \frac{Y}{1 + \cos \alpha}$
2	$R;$ $\alpha > 90^\circ$	$A; B;$ $X; Y$	1) $A = R \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2};$ 2) $B = \frac{R}{\sin \frac{\alpha}{2}};$ 3) $X = R \cos(\alpha - 90^\circ);$ 4) $Y = R[1 - \sin(\alpha - 90^\circ)]$
	$B;$ $\alpha > 90^\circ$	$R$	1) $R = \frac{B \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{\sin(\alpha - 90^\circ)}$
	$Y;$ $\alpha > 90^\circ$		1) $R = \frac{Y}{R[1 - \sin(\alpha - 90^\circ)]}$

Продолжение таблицы

Номер эскиза	Величины		Порядок расчета и формулы
	заданные	определяемые	
3			$1) X_1 = \frac{R}{\cos \alpha} + \frac{R}{\sin \beta} ;$ $2) Y_1 = X_1 \operatorname{tg} \alpha + \frac{R}{\cos \alpha} ;$ $3) X_2 = \frac{Y_1 + \frac{X_1}{\operatorname{tg} \alpha}}{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{ctg} \alpha} ; \quad 4) Y_2 = X_2 \operatorname{tg} \alpha ;$ $5) X_3 = \frac{Y_1 + X_1 \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \beta + \operatorname{ctg} \beta} ; \quad 6) Y_3 = X_3 \operatorname{ctg} \beta$
4	$R; \alpha; \beta$	$X_1; X_2; X_3;$ $Y_1; Y_2; Y_3$	$1) X_1 = \frac{R}{\cos \beta} - \frac{R}{\cos \alpha} ;$ $2) Y_1 = X_1 \operatorname{tg} \alpha + \frac{R}{\cos \alpha} ;$ $3) X_2 = \frac{Y_1 + \frac{X_1}{\operatorname{tg} \alpha}}{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{ctg} \alpha} ; \quad 4) Y_2 = X_2 \operatorname{tg} \alpha ;$ $5) X_3 = \frac{\frac{X_1}{\operatorname{tg} \beta} - Y_1}{\operatorname{tg} \beta + \operatorname{ctg} \beta} ; \quad 6) Y_3 = -X_3 \operatorname{tg} \alpha$
5			$1) X_1 = \frac{R}{\cos \beta} - \frac{R}{\cos \alpha} ;$ $2) Y_1 = \frac{R}{\cos \alpha} - X_1 \operatorname{tg} \alpha ;$ $3) X_2 = \frac{\frac{X_1}{\operatorname{tg} \alpha} - Y_1}{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{ctg} \alpha} ; \quad 4) Y_2 = -X_2 \operatorname{tg} \alpha ;$ $5) X_3 = \frac{\frac{X_1}{\operatorname{tg} \beta} - Y_1}{\operatorname{tg} \beta + \operatorname{ctg} \beta} ; \quad 6) Y_3 = -X_3 \operatorname{tg} \beta$

## Координаты центра сопряжения двух непараллельных прямых

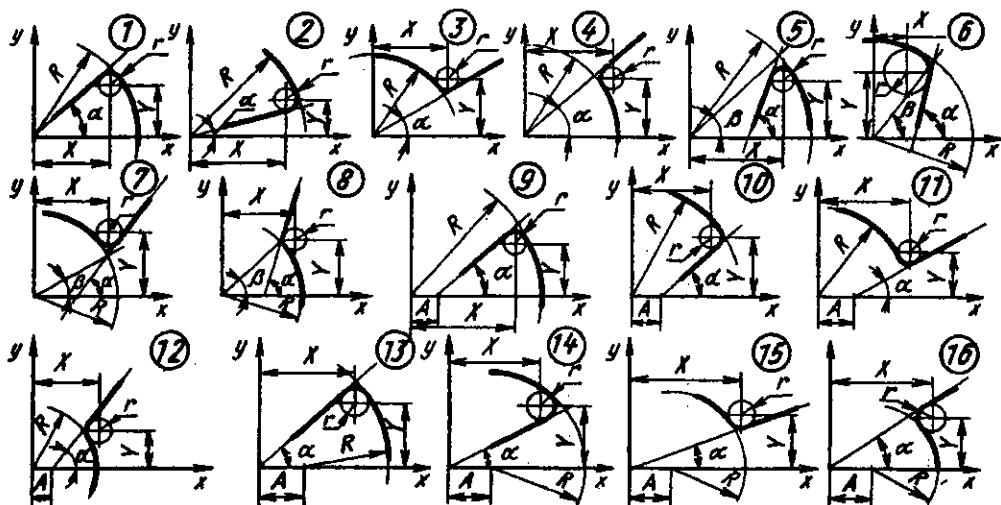


Номер эскиза	Величины		Порядок расчета и формулы
	заданные	определяемые	
1, 2	A; r; α; β	X; Y	1) $X = \frac{A \operatorname{tg} \alpha - \frac{r}{\cos \alpha} - \frac{r}{\cos \beta}}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta}$ ; 2) $Y = X \operatorname{tg} \beta - \frac{r}{\cos \beta}$
3, 4			1) $X = \frac{A \operatorname{tg} \alpha + \frac{r}{\cos \alpha} - \frac{r}{\cos \beta}}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta}$ ; 2) $Y = X \operatorname{tg} \beta + \frac{r}{\cos \beta}$
5, 6			1) $X = \frac{A \operatorname{tg} \alpha + \frac{r}{\cos \alpha} + \frac{r}{\cos \beta}}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta}$ ; 2) $Y = X \operatorname{tg} \beta + \frac{r}{\cos \beta}$
7, 8			1) $X = \frac{A \operatorname{tg} \alpha + \frac{r}{\cos \alpha} - \frac{r}{\cos \beta}}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta}$ ; 2) $Y = X \operatorname{tg} \beta - \frac{r}{\cos \beta}$
9, 10	A; B; r; α; β		1) $X = \frac{A \operatorname{tg} \alpha + \frac{r}{\cos \alpha} - \frac{r}{\cos \beta} - B}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta}$ ; 2) $Y = B - \frac{r}{\sin \beta} - X \operatorname{ctg} \beta$

Продолжение таблицы

Номер эскиза	Величины		Порядок расчета и формулы
	заданные	определяемые	
11, 12	$A; B; r;$ $\alpha; \beta$	$X; Y$	1) $X = \frac{A \operatorname{tg} \alpha - \frac{r}{\cos \alpha} - \frac{r}{\cos \beta} - B}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{ctg} \beta}$ ; 2) $Y = B + \frac{r}{\sin \beta} - X \operatorname{ctg} \beta$
13, 14			1) $X = \frac{A \operatorname{tg} \alpha + \frac{r}{\cos \alpha} - \frac{r}{\sin \beta} - B}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{ctg} \beta}$ ; 2) $Y = B + \frac{r}{\sin \beta} - X \operatorname{ctg} \beta$
15, 16			1) $X = \frac{A \operatorname{tg} \alpha + \frac{r}{\cos \alpha} + \frac{r}{\sin \beta} - B}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{ctg} \beta}$ ; 2) $Y = B - \frac{r}{\sin \beta} - X \operatorname{ctg} \beta$
17			$x_1; x_2;$ $y_1; y_2; r;$ $\alpha \leq 90^\circ$ $\beta \leq 90^\circ$
18	$x_1; x_2;$ $x_3; x_4;$ $y_1; y_2;$ $y_3; y_4;$ $r$	$X; Y; \alpha; \beta$	1) $\alpha = \operatorname{arctg} \frac{y_1 - y_4}{x_1 - x_4}$ ; 2) $\beta = \operatorname{arctg} \frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2}$ . Значения $X$ и $Y$ вычисляются по формулам, приведенным для эскиза 17
19	$x_1; x_2;$ $y_1; y_2; r;$ $\alpha \geq 90^\circ$ $\beta \geq 90^\circ$	$X; Y$	1) $X = \frac{x_1 \operatorname{ctg}(\alpha - 90^\circ) + x_2 \operatorname{tg} \beta + y_1 + \frac{r}{\cos \alpha} - \frac{r}{\sin(\alpha - 90^\circ)} - y_2}{\operatorname{ctg}(\alpha - 90^\circ) + \operatorname{tg} \beta}$ ; 2) $Y = X \operatorname{tg} \beta + y_2 - x_2 \operatorname{tg} \beta - \frac{r}{\cos \beta}$
20	$x_1; x_2;$ $x_3; x_4;$ $y_1; y_2;$ $y_3; y_4;$ $r$	$X; Y; \alpha; \beta$	1) $\alpha = 180^\circ - \operatorname{arctg} \frac{y_4 - y_1}{x_1 - x_4}$ ; 2) $\beta = \operatorname{arctg} \frac{y_2 - y_3}{x_2 - x_3}$ . Значения $X$ и $Y$ вычисляются по формулам, приведенным для эскиза 19

## Координаты центра сопряжения окружности и наклонной прямой дугой заданного радиуса



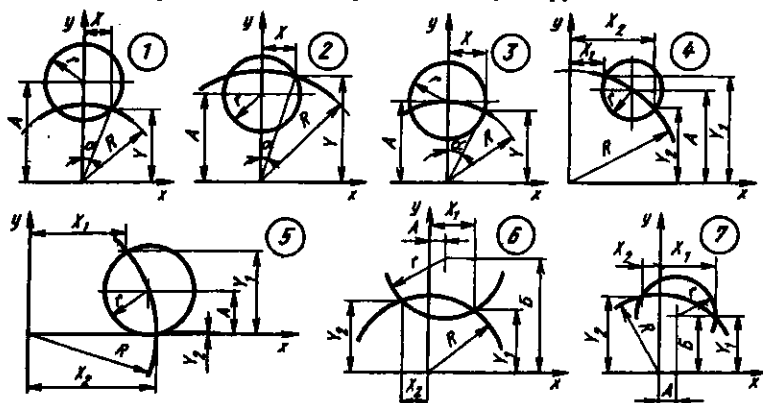
Номер эскиза	Величины		Порядок расчета и формулы
	заданные	определяемые	
1, 2	$R; r; \alpha$	$X; Y$	1) $Q_1 = \alpha \pm \arcsin \frac{r}{R-r}$ ; 2) $X = (R-r) \cos Q_1$ ; 3) $Y = (R-r) \sin Q_1$ . В уравнении п. 1 для эскиза 1 принимают знак "-", для эскиза 2 – знак "+"
3, 4			1) $Q_1 = \alpha + \arcsin \frac{r}{R-r}$ ; 2) $X = (R+r) \cos Q_1$ ; 3) $Y = (R+r) \sin Q_1$ . В уравнении п. 1 для эскиза 3 принимают знак "+", для эскиза 4 – знак "-"
5, 6	$R; r;$ $\alpha > \beta$		1) $Q_1 = R \sin(\alpha - \beta) \pm r$ ; 2) $Q_2 = \arcsin \frac{Q_1}{R-r}$ ; 3) $Q_3 = \alpha - Q_2$ ; 4) $X = (R-r) \cos Q_3$ ; 5) $Y = (R-r) \sin Q_3$ . В уравнении п. 1 для эскиза 5 принимают знак "+", для эскиза 6 – знак "-"

Продолжение таблицы

Номер эскиза	Величины		Порядок расчета и формулы
	заданные	определяемые	
7, 8	$R; r;$ $\alpha > \beta$		1) $Q_1 = R \sin(\alpha - \beta) \pm r;$ 2) $Q_2 = \arcsin \frac{Q_1}{R+r};$ 3) $Q_3 = \alpha - Q_2;$ 4) $X = (R+r) \cos Q_3;$ 5) $Y = (R+r) \sin Q_3.$  В уравнении п. 1 для эскиза 7 принимают знак "-", для эскиза 8 - знак "+"
9, 10			1) $Q_1 = A \sin \alpha \pm r;$ 2) $Q_2 = \arcsin \frac{Q_1}{R-r};$ 3) $Q_3 = \alpha - Q_2;$ 4) $X = (R-r) \cos Q_3;$ 5) $Y = (R-r) \sin Q_3.$  В уравнении п. 1 для эскиза 9 принимают знак "+", для эскиза 10 - знак "-"
11, 12		$X; Y$	1) $Q_1 = A \sin \alpha \pm r;$ 2) $Q_2 = \arcsin \frac{Q_1}{R+r};$ 3) $Q_3 = \alpha - Q_2;$ 4) $X = (R+r) \cos Q_3;$ 5) $Y = (R+r) \sin Q_3.$  В уравнении п. 1 для эскиза 11 принимают знак "-", для эскиза 12 - знак "+"
13, 14	$R; r; A; \alpha$		1) $Q_1 = A \sin \alpha \pm r;$ 2) $Q_2 = \arcsin \frac{Q_1}{R-r};$ 3) $Q_3 = \alpha + Q_2;$ 4) $X = (R-r) \cos Q_3;$ 5) $Y = (R-r) \sin Q_3.$  В уравнении п. 1 для эскиза 13 принимают знак "-", для эскиза 14 - знак "+"
15, 16			1) $Q_1 = A \sin \alpha \pm r;$ 2) $Q_2 = \arcsin \frac{Q_1}{R+r};$ 3) $Q_3 = \alpha + Q_2;$ 4) $X = (R+r) \cos Q_3 + A;$ 5) $Y = (R+r) \sin Q_3.$  В уравнении п. 1 для эскиза 15 принимают знак "+", для эскиза 16 - знак "-"

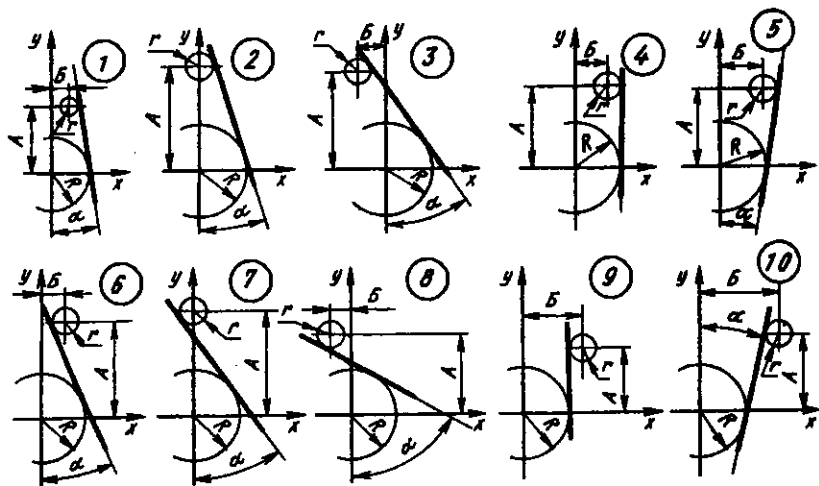


## Координаты точек пересечения двух окружностей



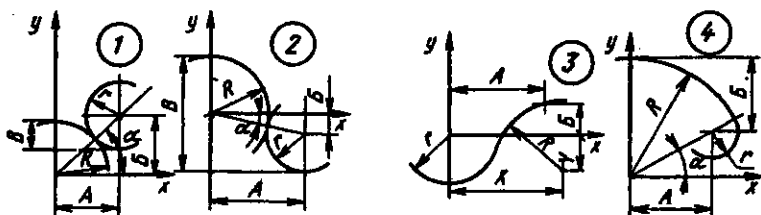
Номер эскиза	Величины		Порядок расчета и формулы
	заданные	определяемые	
1, 2	$A \neq R; r$	$X; Y; \alpha$	1) $\alpha = \arccos \frac{A^2 + R^2 - r^2}{2AR}$ ; 2) $X = R \sin \alpha$ ; 3) $Y = R \cos \alpha$
3	$A = R; r$		1) $\alpha = 2 \arcsin \frac{r}{2R}$ ; 2) $X = R \sin \alpha$ ; 3) $Y = R \cos \alpha$
4	$A; R; r$	$X_1; X_2;$ $Y_1; Y_2$	1) $Q_1 = \arccos \frac{A}{R} - 2 \arcsin \frac{r}{2R}$ ; 2) $Q_1 = \arccos \frac{A}{R} + 2 \arcsin \frac{r}{2R}$ ; 3) $X_1 = R \sin Q_1$ ; 4) $Y_1 = R \cos Q_1$ ; 5) $X_2 = R \sin Q_2$ ; 6) $Y_2 = R \cos Q_2$
5	$R; r$		1) $Q_1 = \arctg \frac{r}{R}$ ; 2) $Q_2 = \arcsin \frac{r}{2R}$ ; 3) $Q_3 = Q_1 + Q_2$ ; 4) $Q_4 = Q_1 - Q_2$ ; 5) $X_1 = R \cos Q_3$ ; 5) $Y_1 = R \sin Q_3$ ; 6) $X_2 = R \cos Q_4$ ; 7) $Y_2 = R \sin Q_4$
6, 7	$A; B; R; r$		1) $Q_1 = \frac{A}{B}$ ; 2) $Q_2 = \frac{r^2 - R^2 - A^2 - B^2}{2B}$ ; 3) $Q_3 = Q_1^2 + 1$ ; 4) $Q_4 = Q_1 Q_2$ ; 5) $Q_5 = Q_2^2 - R^2$ ; 6) $X_1 = \frac{-Q_4 + \sqrt{Q_4^2 - Q_3 Q_5}}{Q_3}$ ; 7) $X_2 = \frac{-Q_4 - \sqrt{Q_4^2 - Q_3 Q_5}}{Q_3}$ ; 8) $Y_1 = -X_1 Q_1 - Q_2$ ; 9) $Y_2 = -X_2 Q_1 - Q_2$

Элементы сопряжения касательной к двум окружностям



Номер эскиза	Величины		Порядок расчета и формулы
	заданные	определяемые	
1, 2, 3, 4, 5	$A; B; R; r$	$\alpha$	1) $Q_1 = \arctg \frac{B}{A}$ ;    2) $Q_2 = \frac{A}{\cos Q_2}$ ; 3) $Q_3 = \arcsin \frac{R-r}{Q_2}$ ;    4) $\alpha = Q_3 - Q_1$
1, 2, 3, 5	$A; \alpha;$ $R > r$	$B$	$B = \left( \frac{R-r}{\sin \alpha} \pm A \right) \operatorname{tg} \alpha.$ Знак "+" для эскиза 5, для остальных эскизов — знак "-"
6, 7, 8, 9, 10	$A; B;$ $R > r$	$\alpha$	1) $Q_1 = \arctg \frac{B}{A}$ ;    2) $Q_2 = \frac{A}{\cos Q_1}$ ; 3) $Q_3 = \arcsin \frac{R+r}{Q_2}$ ;    4) $\alpha = Q_3 - Q_1$
6, 7, 8, 10	$A; \alpha;$ $R > r$	$B$	$B = \left( \frac{R+r}{\sin \alpha} \pm A \right) \operatorname{tg} \alpha.$ Знак "+" для эскиза 10, для остальных эскизов — знак "-"

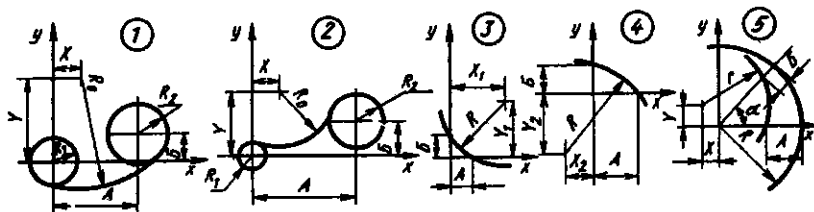
## Элементы внешнего и внутреннего сопряжений двух окружностей



Номер эскиза	Величины		Порядок расчета и формулы
	заданные	определяемые	
1, 2	$A; B; R$	$\alpha; r; B$	1) $\alpha = \arctg \frac{B}{A}$ ; 2) $r = \frac{A}{\cos \alpha} - R$ ; 3) $B = R + r - B$
	$A; R; r$	$B; B; \alpha$	1) $\alpha = \arccos \frac{A}{R+r}$ ; 2) $B = (R+r) \sin \alpha$ ; 3) $B = R + r - B$
	$A; B; r$	$r; B; \alpha$	1) $r = \frac{A^2 + B^2 - 2BB}{2B}$ ; 2) $B = R + r - B$ ; 3) $\alpha = \arctg \frac{B}{A}$
	$B; R; r$	$\alpha; A; B$	1) $\alpha = \arcsin \frac{B}{R+r}$ ; 2) $A = (R+r) \cos \alpha$ ; 3) $B = R + r - B$
	$B; R; B$	$\alpha; r; A$	1) $r = B - R + B$ ; 2) $\alpha = \arcsin \frac{B}{R+r}$ ; 3) $A = \frac{B}{\operatorname{tg} \alpha}$
	$B; R; \alpha$	$A; r; B$	1) $A = \frac{B}{\operatorname{tg} \alpha}$ ; 2) $r = \frac{B}{\sin \alpha} - R$ ; 3) $B = R + r - B$
3	$A; B; R; r$	$X; Y$	1) $Q_1 = \arctg \frac{B}{A}$ ; 2) $Q_2 = \frac{A}{\cos Q_1}$ ; 3) $Q_3 = \arccos \frac{Q_2^2 + (R+r)^2 - R^2}{2Q_2(R+r)}$ ; 4) $Q_4 = Q_1 - Q_3$ ; 5) $X = (R+r) \cos Q_4$ ; 6) $Y = (R+r) \sin Q_4$
4	$A; B; r$	$R; \alpha$	1) $R = \frac{A^2 + B^2 - r^2}{2(B-r)}$ ; 2) $\alpha = \arccos \frac{A}{R-r}$
	$B; R; r$	$\alpha; A$	1) $\alpha = \arcsin \frac{R-B}{R-r}$ ; 2) $A = (R-r) \cos \alpha$
	$A; R; r$	$\alpha; B$	1) $\alpha = \arccos \frac{A}{R-r}$ ; 2) $B = R - A \operatorname{tg} \alpha$
	$B; R; \alpha$	$r; A$	1) $r = R - \frac{R-B}{\sin \alpha}$ ; 2) $A = (R-r) \cos \alpha$

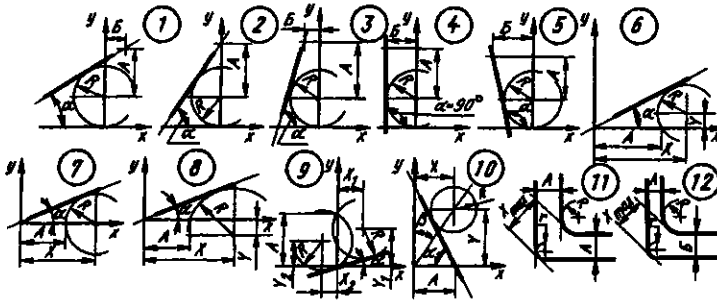
Продолжение таблицы

Определение координат центров дуг и окружностей



Номер эскиза	Величины		Порядок расчета и формулы
	заданные	определяемые	
1, 2	$A; B; R_1; R_2; R_0$	$X; Y$	1) $Q_1 = (R_0 \pm R_1)^2$ ; 2) $Q_2 = (R_0 \pm R_2)^2$ ; 3) $Q_3 = \frac{A^2 + B^2 + Q_1 + Q_2}{2B}$ ; 4) $Q_4 = \frac{A}{B}$ ; 5) $Q_5 = Q_4^2 + 1$ ; 6) $Q_6 = Q_1 - Q_3^2$ ; 7) $Q_7 = \frac{Q_3 Q_4}{Q_5}$ ; 8) $Q_8 = \frac{Q_6}{Q_5}$ ; 9) $X = Q_7 - \sqrt{Q_7^2 + Q_8}$ ; 10) $Y = \sqrt{Q_1 + X^2}$ . В уравнениях пп. 1 и 2 знак "+" принимают для эскиза 2, знак "-" - для эскиза 1
3, 4	$A; B$	$X_1; X_2; Y_1; Y_2$	1) $Q_1 = \frac{A^2 - B^2}{2B}$ ; 2) $Q_1 = \frac{A^2}{B^2} + 1$ ; 3) $Q_3 = -A - Q_1 \frac{A}{B}$ ; 4) $Q_4 = Q_1^2 + A^2 - R^2$ ; 5) $X_1 = \frac{-Q_3 + \sqrt{Q_3^2 - Q_2 Q_4}}{Q_2}$ ; 6) $Y_1 = \frac{B^2 + 2AX_1 - A^2}{2B}$ ; 7) $X_2 = \frac{-Q_3 - \sqrt{Q_3^2 - Q_2 Q_4}}{Q_2}$ ; 8) $Y_2 = \frac{B^2 + 2AX_2 - A^2}{2B}$
5	$A; B; R; r; \alpha$	$X; Y$	1) $Q_1 = (R - B) \cos \alpha$ ; 2) $Q_2 = (R - B) \sin \alpha$ ; 3) $Q_3 = R - A$ ; 4) $Q_4 = \frac{Q_3 - Q_1}{Q_2}$ ; 5) $Q_5 = \frac{Q_1^2 + Q_2^2 - Q_3^2}{2Q_2}$ ; 6) $Q_6 = Q_3^2 + Q_5^2 - r^2$ ; 7) $Q_7 = Q_4^2 + 1$ ; 8) $Q_8 = Q_4 Q_5 - Q_3$ ; 9) $X = \frac{-Q_8 - \sqrt{Q_8^2 - Q_6 Q_7}}{Q_7}$ ; 10) $Y = Q_5 + X Q_4$

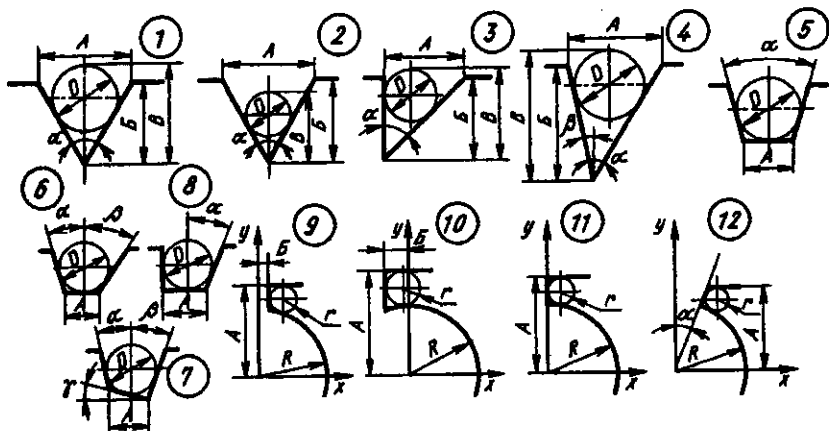
## Элементы сопряжения прямой с окружностью



Номер эскиза	Величины		Порядок расчета и формулы
	заданные	определяемые	
1, 2, 3, 4, 5	$A; B; R$	$\alpha$	1) $Q_1 = \arctg \frac{B}{A}$ ; 2) $Q_2 = \frac{A}{\cos Q_1}$ ; 3) $Q_3 = \arcsin \frac{R}{Q_2}$ ; 4) $\alpha = 90^\circ - Q_1 - Q_3$
6, 7, 8	$A; R; \alpha$	$X; Y$	1) $Q_1 = 1 - \tg^2 \alpha$ ; 2) $Q_2 = \frac{R \tg \alpha}{\cos \alpha} + A$ ; 3) $Q_3 = A^2 + \frac{R}{\cos^2 \alpha} - R^2$ ; 4) $X = \frac{Q_2 + \sqrt{Q_2^2 - Q_1 Q_3}}{Q_1}$ ; 5) $Y = X \tg \alpha - \frac{R}{\cos \alpha}$
9		$X_1; X_2;$ $Y_1; Y_2$	1) $Q_1 = 1 + \tg^2 \alpha$ ; 2) $Q_2 = \frac{R}{\cos \alpha}$ ; 3) $Q_3 = (Q_2 - A) \tg \alpha$ ; 4) $Q_4 = Q_2^2 + A^2 - 2Q_2 A - R^2$ ; 5) $X_1 = \frac{-Q_3 + \sqrt{Q_3^2 - Q_1 Q_4}}{Q_1}$ ; 6) $Y_1 = X_1 \tg \alpha + Q_2$ ; 7) $X_2 = \frac{-Q_3 - \sqrt{Q_3^2 - Q_1 Q_4}}{Q_1}$ ; 8) $Y_2 = X_2 \tg \alpha + Q_2$
10	$A; R; \alpha; \beta$	$X; Y$	1) $Q_1 = A \tg \alpha + \frac{R}{\cos \alpha}$ ; 2) $X = \frac{Q_1}{\tg \alpha + \ctg \beta}$ , если $0 < \beta < 90^\circ$ и $X = \frac{Q_1}{\tg \alpha - \tg(\beta - 90^\circ)}$ , если $90^\circ < \beta < 180^\circ$ ; 3) $Y = Q_1 - X \tg \alpha$
11	$A; R; r$	$X_{\max}$	$X_{\max} = 1,4142(R + A - r) + r - R$
12	$A; B; R; r$		1) $Q_1 = R + A - r$ ; 2) $Q_2 = R + B - r$ ; 3) $\alpha = \arctg \frac{Q_1}{Q_2}$ ; 4) $X_{\max} = \frac{Q_2}{\cos Q_3} + r - R$

Продолжение таблицы

Определение элементов угловой и фигурной впадины с помощью мерных роликов

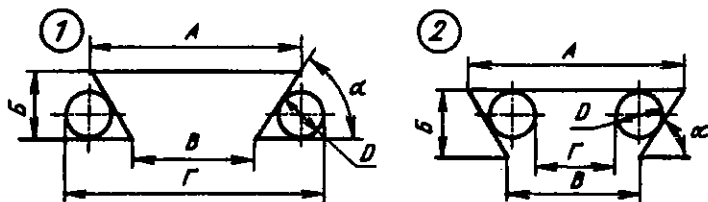


Номер эскиза	Величины		Порядок расчета и формулы
	заданные	определяемые	
1, 2	$A; D; \alpha$	$B; B$	$B = 0,5 A \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}; \quad 2) \quad B = 0,5 D \left( \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right).$ <p>При <math>\alpha = 90^\circ \quad B = 0,5A, \quad B = 1,2071D</math>; при <math>\alpha = 60^\circ</math>  <math>B = 0,86603A, \quad B = 1,5D</math></p>
3			$1) \quad B = A \operatorname{ctg} \alpha; \quad 2) \quad B = 0,5 D \left( 1 + \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \right)$
4	$A; D; \alpha; \beta$		$1) \quad B = \frac{A}{\operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg}(\alpha - \beta)}; \quad 2) \quad B = 0,5 D \left( \frac{\cos \left( \frac{\alpha}{2} - \beta \right)}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right)$
5	$A; \alpha$	$D$	$D = A \operatorname{tg} \frac{90^\circ + \frac{\alpha}{2}}{2}$
	$D; \alpha$	$A$	$A = D \operatorname{ctg} \frac{90^\circ + \frac{\alpha}{2}}{2}$
6	$A; \alpha; \beta$	$D$	$D = \frac{2A}{\operatorname{tg} \frac{90^\circ - \alpha}{2} + \operatorname{tg} \frac{90^\circ - \beta}{2}}$
	$D; \alpha; \beta$	$A$	$A = \frac{D}{2} \left( \operatorname{tg} \frac{90^\circ - \alpha}{2} + \operatorname{tg} \frac{90^\circ - \beta}{2} \right)$

Продолжение таблицы

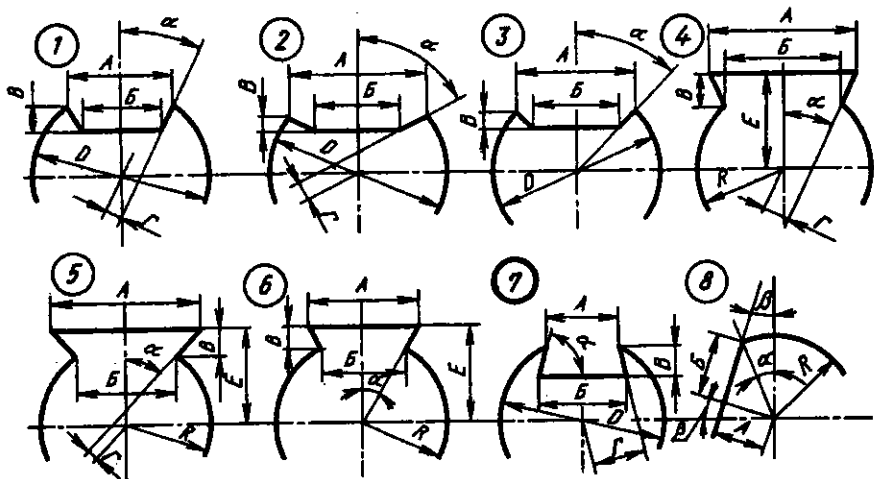
Номер эскиза	Величины		Порядок расчета и формулы
	заданные	определяемые	
7	$A; \alpha; \beta; \gamma$	$D$	$D = \frac{2A \sin \frac{90^\circ + \alpha + \gamma}{2} \sin \frac{90^\circ + \beta - \gamma}{2}}{\cos \gamma \cos \frac{\alpha + \beta}{2}}$
	$D; \alpha; \beta; \gamma$	$A$	$A = \frac{D \cos \gamma \cos \frac{\alpha + \beta}{2}}{2 \sin \frac{90^\circ + \alpha + \gamma}{2} \sin \frac{90^\circ + \beta - \gamma}{2}}$
8	$A; \alpha$	$D$	$D = \frac{2A}{\operatorname{tg} \frac{90^\circ - \alpha}{2} + 1}$
	$D; \alpha$	$A$	$A = \frac{D}{2} \left( \operatorname{tg} \frac{90^\circ - \alpha}{2} + 1 \right)$
9, 10, 11	$A; B; R$	$r$	$r = A + R - B - 1,4142 \sqrt{(R + A)(R - B)}$
12	$A; R; \alpha$		1) $Q_1 = \sin^2 \alpha + 1 - 2 \sin \alpha$ ; 2) $Q_2 = A \sin \alpha - R \cos^2 \alpha - A$ ; 3) $Q_3 = A^2 - R^2 \cos^2 \alpha$ ; 4) $r = \frac{-Q_2 - \sqrt{Q_2^2 - Q_1 Q_3}}{Q_1}$

**Определение элементов углового соединения типа "ласточкин хвост" методом мерных роликов**



1	$A; B; D; \alpha$	$B; \Gamma$	1) $B = A - 2B \operatorname{ctg} \alpha$ ; 2) $\Gamma = A + D \left( \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} + 1 \right) - 2B \operatorname{ctg} \alpha$ . При $\alpha = 60^\circ$ $B = A - 1,1547B$ ; $\Gamma = B + 2,732D$ ; при $\alpha = 55^\circ$ $B = A - 1,4B$ ; $\Gamma = A - 1,4B + 2,921D$
2			1) $B = A - 2B \operatorname{ctg} \alpha$ ; 2) $\Gamma = A - D \left( \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} - 1 \right)$ . При $\alpha = 60^\circ$ $B = A - 1,1547B$ ; $\Gamma = B - 2,732D$ ; при $\alpha = 55^\circ$ $B = A - 1,4B$ ; $\Gamma = A - 2,921D$

Элементы угловых впадин и выступов на круге

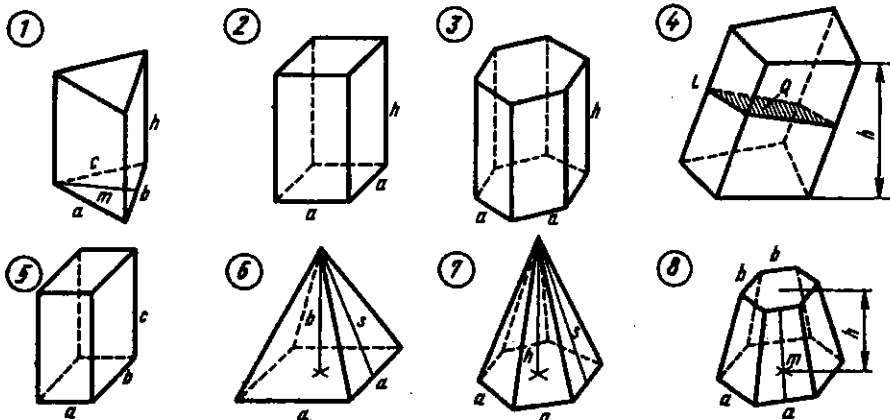


Номер эскиза	Величины		Порядок расчета и формулы
	заданные	определяемые	
1, 2, 3	$A; B; D; \alpha$	$B; \Gamma$	1) $B = A - 2B \operatorname{tg} \alpha$ ; 2) $Q_2 = \arcsin \frac{A}{D}$ ; 3) $Q_3 = Q_2 - \alpha$ ; 4) $\Gamma = 0,5D \sin Q_3$
4, 5, 6	$A; E; R; \alpha$	$\Gamma; B; B$	1) $Q_1 = \frac{A}{2 \operatorname{tg} \alpha} - E$ ; 2) $\Gamma = Q_1 \sin \alpha$ ; 3) $Q_3 = \arcsin \frac{Q_2}{R}$ ; 4) $Q_4 = \alpha + Q_3$ ; 5) $B = 2R \sin Q_4$ ; 6) $B = \frac{A - E}{2 \operatorname{tg} \alpha}$
7	$A; B; D; \alpha$	$B; \Gamma$	1) $B = A + 2B \operatorname{ctg} \alpha$ ; 2) $Q_2 = \alpha - \arcsin \frac{A}{D}$ ; 3) $\Gamma = \frac{D}{2} \cos Q_2$ ;
8	$R; \alpha; \beta$	$A; B$	1) $Q_1 = \alpha + \beta$ ; 2) $A = R \sin Q_1$ ; 3) $B = R \cos Q_1$



## ПОВЕРХНОСТИ И ОБЪЕМЫ ТЕЛ

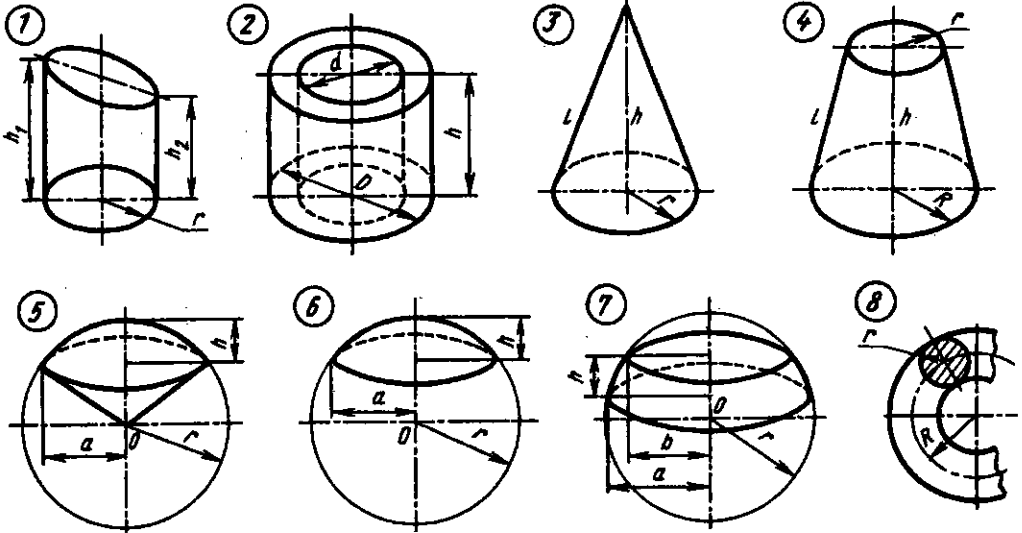
Поверхности (боковая  $S_6$ , полная  $S_n$ ) и объемы многогранников



Номер эскиза	Многогранник	Расчетные формулы
–	Куб	$V = a^3$ ; $S_n = 6a^2$ , где $a$ – ребро куба
1	Призма: прямая трехгранная	$V = \frac{am}{2}h$ ; $S_6 = (a+b+c)h$ ; $S_n = S_6 + am$
2		$V = a^2h$ ; $S_6 = 4ah$ ; $S_n = S_6 + 2a^2$
3		$V = 2,598a^2h$ ; $S_6 = 6ah$ ; $S_n = 5,196a^2 + 6ah$
4	наклоиная	$V = Bh = Q_c l$ ; $S = P_c l$ ; $S_n = S_6 + 2B$ , где $B$ – площадь основания; $P_c$ и $Q_c$ – соответственно периметр и площадь перпендикулярного сечения
5	Параллелепипед	$V = abc$ ; $S_6 = 2h(a+b)$ ; $S_n = S_6 + 2ab$
6	Пирамида правильная: с квадратом в основании	$V = \frac{a^2h}{3}$ ; $S_6 = 2as$ ; $S_n = S_6 + a^2$ , где $s$ – апофема
7	с правильным $n$ -угольником в основании	$V = \frac{Bh}{3}$ ; $S_6 = \frac{nas}{3}$ ; $S_n = S_6 + B$ , где $B$ – площадь основания; $s$ – апофема
8	усеченная	$V = \frac{h}{3}(B_1 + B_2 + \sqrt{B_1 B_2})$ ; $S_6 = mn \frac{a+b}{2}$ ; $S_n = S_6 + B_1 + B_2$ , где $B_1$ и $B_2$ – площади оснований; $a$ и $b$ – стороны оснований
–	Пирамида любая	$V = \frac{Bh}{3}$ , где $B$ – площадь основания; $h$ – высота

Продолжение таблицы

Поверхности (боковая  $S_6$ , полная  $S_n$ ) и объемы ( $V$ ) тел вращения



Номер эскиза	Тело	Расчетные формулы
-	Цилиндр круглый прямой	$V = \frac{d^2 \pi h}{4}$ ; $S_6 = \pi d h$ ; $S_n = S_6 + \frac{\pi d^2}{2}$ , где $d$ – диаметр цилиндра; $h$ – высота
1	Цилиндр круглый прямой усеченный	$V = \pi r^2 \frac{h_1 + h_2}{2}$ ; $S_6 = \pi r (h_1 + h_2)$
2	Цилиндрическая труба	$S_n = S_6 + \pi r \left[ r + \sqrt{r^2 + \left( \frac{h_1 - h_2}{2} \right)^2} \right]$ ; $V = \frac{\pi h}{4} (D^2 - d^2)$ ; $S_n = \frac{\pi (D^2 - d^2)}{2} + \pi h (D + d)$
3	Конус круглый прямой	$V = \frac{1}{3} \pi r^2 h$ ; $S_6 = \pi r l = \pi r \sqrt{r^2 + h^2}$ ; $S_n = \pi r (r + l)$ , где $l$ – образующая
4	Конус круглый прямой усеченный	$V = \frac{1}{3} \pi h (R^2 + r^2 + Rr)$ ; $S_6 = \pi l (R + r)$ ; $S_n = \pi [R^2 + r^2 + l(R + r)]$

Окончание таблицы

Номер эскиза	Тело	Расчетные формулы
–	Шар	$V = \frac{1}{6} \pi d^3 = \frac{4}{3} \pi r^3$ ; $S_{\text{п}} = 4\pi r^2 = \pi d^2$ , где $r$ – радиус шара; $d$ – диаметр шара
5	Шаровой сектор	$V = \frac{2}{3} \pi r^2 h$ ; $S_{\text{б}} = 2\pi r h$ ; $S_{\text{п}} = \pi r(2h + a)$
6	Шаровой сегмент	$V = \frac{1}{6} \pi h(3a^2 + h^2)$ ; $S_{\text{б}} = 2\pi r h = \pi(a^2 + h^2)$ ; $S_{\text{п}} = \pi(2rh + a^2) = \pi(h^2 + 2a^2)$
7	Шаровой слой	$V = \frac{1}{6} \pi h(3a^2 + 3b^2 + h^2)$ ; $S_{\text{б}} = 2\pi r h$ ; $S_{\text{п}} = \pi(2rh + a^2 + b^2)$
8	Тор	$V = 2\pi R r^2$ ; $S_{\text{п}} = 4\pi^2 R r$

Поверхности и объемы правильных многогранников ( $a$  – длина ребра)

Многогранник	Число граней и их форма	Число		Полная поверхность	Объем
		ребер	вершин		
Тетраэдр	Четыре треугольника	6	4	$1,7321a^2$	$0,1179a^3$
Куб	Шесть квадратов	12	8	$6,0000a^2$	$a^3$
Октаэдр	Восемь треугольников	12	6	$3,4641a^2$	$0,4714a^3$
Додекаэдр	Двенадцать прямоугольников	30	20	$20,6457a^2$	$7,6631a^3$
Икосаэдр	Двадцать треугольников	30	12	$8,6603a^2$	$2,1817a^3$

## ЕСКД. ОБОЗНАЧЕНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации установлен срок введения изменений – с 1 января 2005 г.

Изменения касаются как обозначения шероховатости поверхностей, так и правил их нанесения на чертеж (см. ИУС № 3. 2003 г.).

Межгосударственный стандарт ГОСТ 2.309–73 полностью соответствует стандарту ИСО 1302.

### 1. ОБОЗНАЧЕНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Шероховатость поверхностей обозначают на чертеже для всех выполняемых по данному чертежу поверхностей изделия, независимо от методов их образования, кроме поверхностей, шероховатость которых не обусловлена требованиями конструкции.

Структура обозначения шероховатости поверхности приведена на рис. 1. При применении знака без указания параметра и способа обработки его изображают без полки.

В обозначении шероховатости поверхности применяет один из знаков, изображенных на рис. 2. Высота  $h$  должна быть приблизительно равна применяемой на чертеже высоте цифр размерных чисел. Высота  $H$  равна  $(1,5...5)h$ . Толщина линий знаков должна быть приблизительно равна половине толщины сплошной осевой линии, применяемой на чертеже. В обозначении шероховатости поверхности, способ обработки которой конструктором не устанавливается, применяют знак по рис. 2, а. В обозначении шероховатости поверхности, которая должна быть образована только удалением слоя материала, применяют знак по рис. 2, б. В обозначении шероховатости поверхности, которая должна быть образована без удаления слоя материала, применяют знак по рис. 2, в с указанием значения параметра шероховатости.

Поверхности детали, изготовляемой из материала определенного профиля и размера,

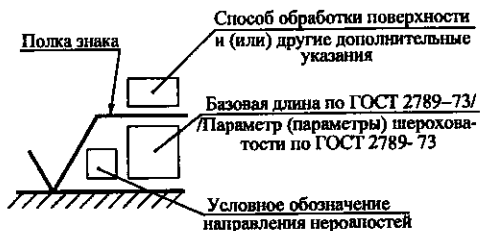


Рис. 1.

не подлежащие по данному чертежу дополированной обработке, должны быть отмечены знаком по рис. 2, в без указания параметра шероховатости. Состояние поверхности, обозначенной таким знаком, должно соответствовать требованиям, установленным соответствующим стандартом или техническими условиями, или другим документом, причем на этот документ должна быть приведена ссылка, например, в виде указания сортамента материала в графе 3 осевой надписи чертежа по ГОСТ 2.104–68.

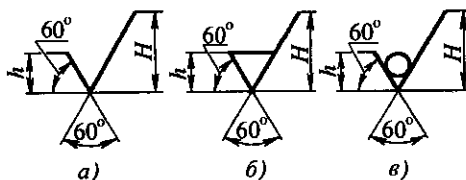


Рис. 2

Значение параметра шероховатости по ГОСТ 2789–73 указывают в обозначении шероховатости после соответствующего символа, например:  $Ra$  0,4;  $R_{max}$  6,3;  $S_m$  0,63;  $t_{50}$  70;  $S$  0,032;  $Rz$  50. В примере  $t_{50}$  70 указана относительная опорная длина профиля  $t_p = 70\%$  при уровне сечения профиля  $p = 50\%$ .

При указании наибольшего значения параметра шероховатости в обозначении приводят параметр шероховатости без предельных отклонений, например:  $\sqrt{Ra}$  0,4;  $\sqrt{Rz}$  50.

При указании наименьшего значения параметра шероховатости после обозначения параметра следует указывать "min", например:  $\sqrt{Ra}$  3,2 min;  $\sqrt{Ra}$  50 min.

При указании диапазона значений параметра шероховатости поверхности в обозначении шероховатости приводят пределы значений параметра, размещая их в две строки, например:

$$Ra \begin{matrix} 0,8 \\ 0,4 \end{matrix}; \quad Rz \begin{matrix} 0,10 \\ 0,05 \end{matrix}; \quad R_{max} \begin{matrix} 0,80 \\ 0,32 \end{matrix}; \quad t_{50} \begin{matrix} 70 \\ 50 \end{matrix}.$$

В верхней строке приводят значение параметра, соответствующее более грубой шероховатости.

При указании номинального значения параметра шероховатости поверхности в обозначении приводят это значение с предельными отклонениями по ГОСТ 2789–73, например:

$$Ra 1 + 20\%; \quad Rz 100_{-10}\%; \quad S_m 0,63^{+20}\%;$$

$$t_{50} 70 \pm 40\%.$$

Параметр высоты неровностей профиля	$Ra$ 0,1
Параметр шага неровностей профиля	$0,8/Sm$ 0,063 0,040
Относительная опорная длина профиля	$0,25/lt_{90}$ 80±10%

Рис. 3

При указании двух и более параметров шероховатости поверхности в обозначении шероховатости значения параметров записывают сверху вниз в порядке, представленном на рис. 3 (см. также рис. 1).

Типы направления неровностей	Обозначение	Типы направления неровностей	Обозначение

В соответствии с внесенными изменениями таблица дополнена обозначением:

Типы направления неровностей	Обозначение

Условные обозначения направления неровностей приводят на чертеже при необходимости.

Высота знака условного обозначения направления неровностей должна быть приблизительно равна  $h$ . Толщина линий знака должна быть приблизительно равна половине толщины сплошной основной линии.

Вид обработки поверхности указывают в обозначении шероховатости только в случаях, когда она является единственным, применимым для получения требуемого качества поверхности (рис. 4).

Полировать $\sqrt{M Ra 0,025}$		Полировать $\sqrt{a} = \sqrt{M 0,8/Ra 0,4}$ $\sqrt{b} = \sqrt{Ra 0,8 / 2,5/lt_{90} 60}$
-----------------------------------	--	---

Рис. 4

Рис. 5

При иерархизации требований к шероховатости поверхности параметрами  $Ra$ ,  $Rz$ ,  $Rmax$  базовую длину в обозначении шероховатости не приводят, если она соответствует указанной в приложении 1 ГОСТ 2789-73 для выбранного значения параметра шероховатости.

Условные обозначения направления неровностей должны соответствовать приведенным в таблице.

Допускается применять упрощенное обозначение шероховатости поверхностей с разрывом его в технических требованиях чертежа по примеру, указанному на рис. 5.

## 2. ПРАВИЛА НАНЕСЕНИЯ ОБОЗНАЧЕНИЙ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ЧЕРТЕЖАХ

Обозначения шероховатости поверхностей на изображении изделия располагают на линиях контура, выносных линиях (по возможности ближе к размерной линии) или на полках линий-выносок. Допускается при недостатке места располагать обозначение шероховатости на размерных линиях или на их продолжениях, на рамке допуска формы, а также разрывать выносную линию (рис. 6). На линии невидимого контура допускается наносить обозначение шероховатости только в случаях, когда от этой линии нанесен размер.

Обозначения шероховатости поверхности, в которых знак имеет полку, располагают относительно основной надписи чертежа так, как показано на рис. 7 и 8, а если знак не имеет полки, то так, как показано на рис. 9. При расположении поверхности в заштрихованной зоне обозначение наносят только на полке линии-выноски.

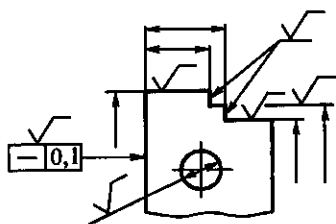


Рис. 6

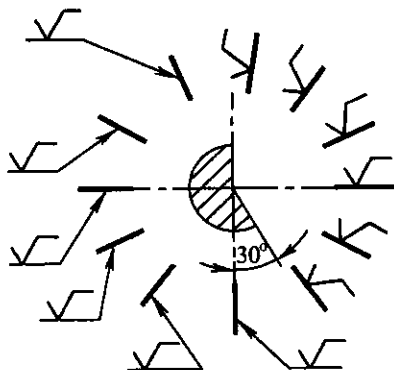


Рис. 7

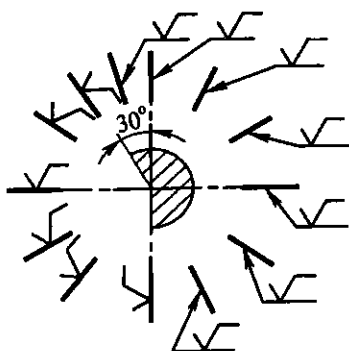


Рис. 8

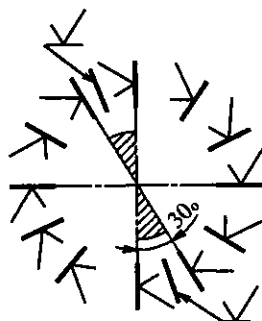


Рис. 9

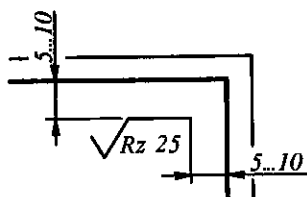


Рис. 10

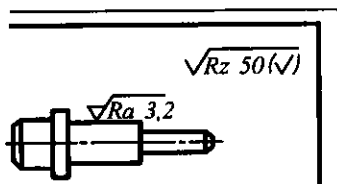


Рис. 11

При указании одинаковой шероховатости для всех поверхностей изделия обозначение шероховатости помещают в правом верхнем углу чертежа и на изображении ее наносят, рис. 10. Размеры и толщина линий знака в обозначении шероховатости, вынесенном в правый верхний угол чертежа, должны быть приблизительно в 1,5 раза больше, чем в обозначениях, нанесенных на изображении.

Обозначение шероховатости, одинаковой для части поверхностей изделия, может быть

помещено в правом верхнем углу чертежа (рис. 11, 12) вместе с условным обозначением ( $\checkmark$ ). Это означает, что все поверхности, на которых на изображении не нанесены обозначения шероховатости или знак  $\checkmark$ , должны иметь шероховатость, указанную перед условным обозначением ( $\checkmark$ ). Размеры знака, взятого в скобки, должны быть одинаковыми с размерами знаков, нанесенных на изображении.

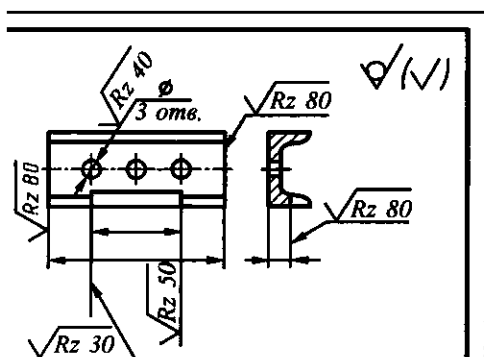


Рис. 12

Если шероховатость одной и той же поверхности различна на отдельных участках, то эти участки разграничивают сплошной тонкой линией с нанесением соответствующих размеров и обозначений шероховатости (рис. 13, а). Через заштрихованную зону линию границы между участками не проводят (рис. 13, б).

Обозначение шероховатости рабочих поверхностей зубьев зубчатых колес, эвольвентных шлицев и т.п., если на чертеже не приведен их профиль, условно наносят на линии делительной поверхности (рис. 14, а–е),

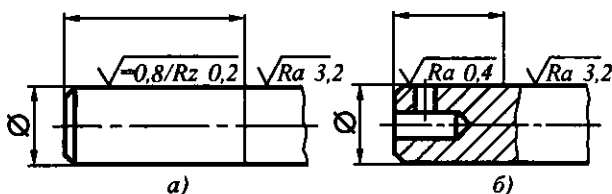


Рис. 13

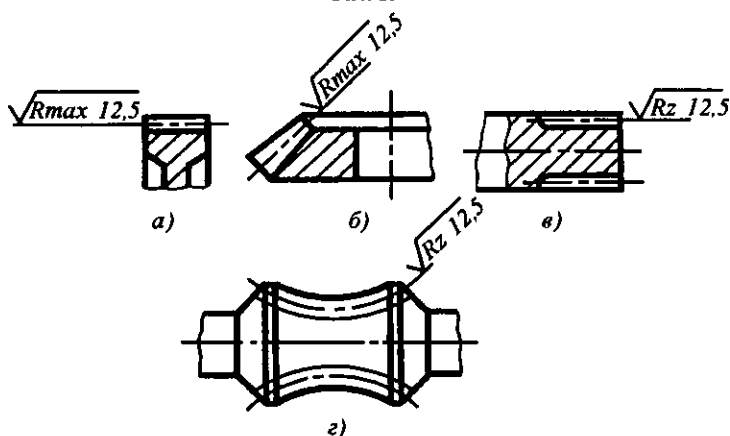


Рис. 14

а для глобидных червяков и сопряженных с ними колес – на линии расчетной окружности (рис. 14, е).

Обозначение шероховатости поверхности профиля резьбы наносят по общим правилам при изображении профиля (рис. 15, а), или условно на выносной линии для указания размера резьбы (рис. 15, б–д), на размерной линии или на ее продолжении (рис. 15, е). Знаком "\*" на рис. 15, д отмечено место нанесения обозначения резьбы.

Если шероховатость поверхностей, образующих контур, должна быть одинаковой, обозначение шероховатости наносят один раз в соответствии с рис. 16. Диаметр вспомогательного знака  $\bigcirc$  – 4 ... 5 мм. В обозначении одинаковой шероховатости поверхностей, плавно переходящих одна в другую, знак  $\bigcirc$  не приводят (рис. 17). Обозначение одинаковой шероховатости поверхности сложной конфигурации допускается приводить в технических требованиях чертежа со ссылкой на буквенное обозначение поверхности, например:

"Шероховатость поверхности А –  $\sqrt{Ra 1,6}$ ".

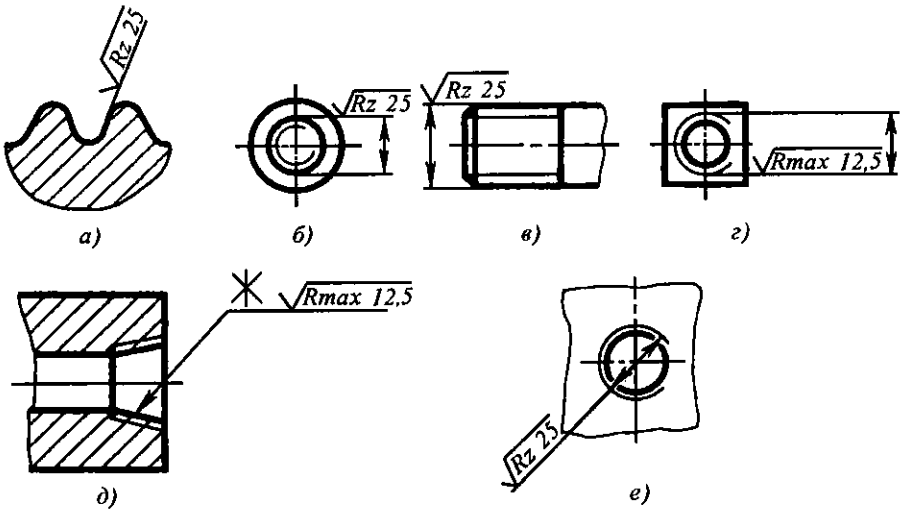


Рис. 15

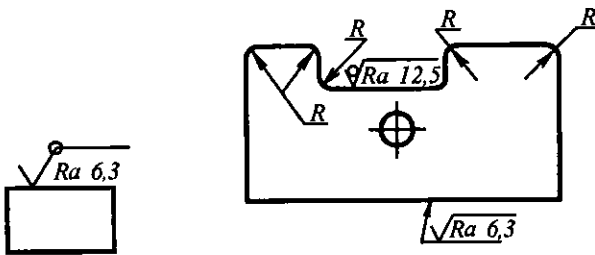


Рис. 16

Рис. 17

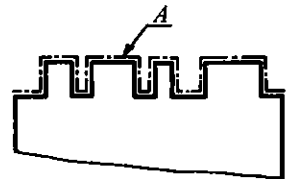


Рис. 18

При этом буквенное обозначение поверхности наносят на полке линии-выноски, проведенной от утолщенной штрихпунктирной ли-

нии, которой обводят поверхность на расстоянии 0,8...1 мм от линии контура (рис. 18).



## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

---

---

### А

Автоматизация технологического процесса  
12, 13

#### Автоматы:

- абразивно-отрезные 298
- гайконарезные 286
- круглопильные 298
- многошпindleльные 241, 242
- одношпindleльные 240
- продольного точения 240
- прутковые 239, 241, 242

#### Алмазы:

- в оправе 656 – 659
- полнокристаллические 208

Алюминий 74 – 77

### Б

Баббиты 68

Базы 140 – 142, 563

Балансировка кругов 662, 663

Бофрезы 861, 862:

- из быстрорежущей стали 870 – 874
- твердосплавные 863 – 870

Бронза 66, 67, 81

Бруски шлифовальные 610, 611

### В

Взаимозаменяемость 14

Вид производства 10

#### Время:

- вспомогательное 12
- оперативное 12
- основное 12
- штучное 12

Вставки алмазные 309

Втулки 336

Выглаживание алмазное 696

Выдавливание 99, 104, 105

### Г

Газы жидкие 894, 895

Гальванопластика 12

#### Генераторы:

- импульсные 740
- полупроводниковые 742
- ультразвуковые 742

Гибка 99 – 104

Гидродвигатели 166

Гидроцилиндры 166 – 168

#### Головки:

- абразивные 607, 608
- алмазные 631, 637
- измерительные 18, 19
- резцовые 586
- резцовые быстросменные 798
- резбонакатные 555, 556
- резбонарезные 542 – 546
- шлифовальные 612, 613

#### Головки-протяжки:

- зубчатые 584
- резцовые 587

Гребенки 525

Группы станков 222 – 238

### Д

#### Действие СОТС:

- защитное 888
- охлаждающее 886
- пластифицирующее 886, 888
- режущее 886, 888
- смазывающее 885, 886

Державки 336  
 Деталь 9  
 Диапазон:  
 – измерений 16  
 – показаний 16  
 Диски фибровые шлифовальные 614  
 Длинна базовая 24  
 Доводка:  
 – абразивная 707-709  
 – безабразивная 709, 710  
 Документ конструкторский 9  
 Допуски 21 – 24, 26 – 35

## Ж

Жидкости смазывающе-охлаждающие:  
 – водные 891, 892  
 – масляные 890, 891  
 – полимерсодержащие 893, 894  
 – при шлифовании 644, 645

## З

Заготовка 11  
 Заточка лезвийного инструмента 673 – 684  
 Зенкеры 370, 382 – 384, 386  
 Зенковки 370, 384, 385  
 Зернистость 596-599, 651  
 Знаки управляющие 770, 771  
 Зубофрезерование 565, 566  
 Зубошлифование 580  
 Зубошлифование 578, 579

## И

Иглы алмазные 657, 658  
 Идентификаторы 836  
 Изделие 9, 11  
 Измерение:  
 – косвенное 15  
 – прямое 15  
 Износ инструмента 209 – 215, 664, 665  
 Инструмент 13:

– абразивный 599 – 601  
 – ручной 13  
 Инструменты на гибкой основе 710 – 727  
 Источники тока 764

## К

Кадр управляющей программы 772  
 Калибровка 15  
 Канавки 112 – 115  
 Караидаши алмазные 654, 655  
 Карта расчетно-технологическая 833, 834  
 Качество 15:  
 – СОРТ 903  
 Квалитет 14  
 Классификация металлорежущих станков  
 223, 224  
 Кодирование 769 – 771  
 Колеса зубчатые 39, 564, 581  
 Комплекс 9:  
 – технологический роботизированный 792,  
 793  
 Комплект 9  
 Контроль 15:  
 – управляющих программ 845, 846  
 – шероховатости 688 – 690  
 Копирование 565, 573  
 Коэффициент закрепления операций 10  
 Круги:  
 – абразивные 604 – 607  
 – алмазные 631 – 636, 640  
 – отрезные 615 – 617, 645, 646  
 – эльборовые 646 – 651  
 Кубический нитрид бора 207, 209  
 Кулачки эксцентровые 163

## Л

Лазеры:  
 – CO<sub>2</sub> 752  
 – YAG 752  
 Латунь 64, 65  
 Линия базовая 24  
 Литье 12

**М****Маркировка** 45 – 50**Материал** 11:

– основной 11

– сверхтвердый 204, 207

**Материалы:**

– абразивные 593 – 596

– для электродов-инструментов 732

**Машина механизированная** 13**Машина-автомат** 13**Машина-полувтомат** 13**Медь** 81**Меры:**

– концевые 17

– угловые 17

**Металлы цветные** 59 – 68**Метод:**

– непосредственной оценки 16

– сравнения 16

**Методика выполнения измерений** 15**Методы контроля** 16 – 21**Метчик** 528 – 536**Метчики-раскатники** 556 – 558**Механизация технологического процесса**  
12, 13**Механизмы зажимные** 157 – 168**Модуль гибкий производственный** 792, 793**Мощность производственная** 10**Н****Надфил** 851, 856, 857:

– алмазные 860

– из синтетических алмазов 861

**Наладка** 12:

– автоматов 339 – 345, 347 – 357

– полуавтоматов 359, 364, 365

– станка с ЧПУ 796 – 802

– станков 418, 419, 458 – 460

**Наладки** 490**Нанесение покрытия** 12**Напильник** 851, 855:

– ключевые 855, 856

– автомобильные корпусные 857

– алмазные 859

– заточные 858

– из твердого сплава 857

– контактные 855, 856

– прецизионные 858, 859

– фрезерованные 857

**Насечки** 851 – 853**Насосы** 765**Ножовки ручные** 850**О****Обкатывание** 564, 570, 571, 579, 581**Оборудование:**

– измерительное 15

– технологическое 12

**Обработка** 12:

– виброобразивная 706

– давлением 12

– лазерная 746 – 752

– механическая 12

– резанием 12, 105 – 115

– струйно-абразивная 706

– термическая 12

– типовая 831

– ультразвуковая 741 – 746

– электронно-лучевая 752, 753

– электрофизическая 12

– электрохимическая 12, 753 – 766

– электроэрозивная 728 – 741

**Объем выпуска продукции** 10**Объемы тел** 944 – 946**Окружность прилегающая** 14**Операция** 829:

– сборочная 911

– технологическая 11

**Описание детали формализованное** 812, 813**Опоры стационарных приспособлений** 140 –

148

**Оправки** 142, 150, 152 – 154, 318, 319:

– качающиеся 335

**Осиастка:**

- для станков 672
- технологическая 12

**Отверстия:**

- центровые 110 – 112
- центровые 801

**Отделочная обработка:**

- абразивная 697
- лезвийная 692

**Отклонение формы 14****Отливки 91 – 97****Оценка:**

- качественная 87
- количественная 87

**П****Пальцы 149****Параметры лазеров 747****Пасты 896:**

- алмазные 629 – 631

**Патроны 151, 154-156, 317, 318, 336****Передачи:**

- зубчатые 36 – 42
- конические зубчатые 560
- цилиндрические зубчатые 560
- червячные 589 – 592

**Переход 828:**

- вспомогательный 11, 829
- инструментальный 829
- позиционный 829
- технологический 11, 911
- типовой 830, 832
- элементарный 828

**Перфолента 771****Пластины твердосплавные 306 – 308****Пластмасса 82 – 85****Плашки:**

- резбонакатные 554, 555
- резбонарезные 539 – 542

**Пневмоцилиндры 165, 167****Поверхность:**

- обрабатываемая элементарная 828, 829

- прилегающая 14

**Поверхности тел 944 – 946****Погрешность:**

- базирования 169 – 173
- закрепления 173, 176
- измерения 15, 16
- износа 176 – 178
- положения 176
- средства измерения 15, 16
- установки 168 – 180

**Подача СОТС 906 – 909****Подналадка 12****Позиция 11****Покрyтия:**

- износостойкие 212, 216 – 220
- электродов-инструментов 758

**Полирование абразивными лентами 702****Полотно для ручных ножовок 848 – 850****Полуавтоматы:**

- резбозрезерные 285, 286
- бесцентрово-шлифовальные 266, 267
- горизонтальные отделочно-расточные 259
- зубодолбежные 277
- зубообрабатывающие 279
- зуборезные 280
- зубозрезерные 278, 279
- зубохонниговальные 280, 281
- зубошвнниговальные 280, 281
- зубошлифовальные 282
- многошпindleльные 243, 244
- патронные 243
- протяжные вертикальные 297
- протяжные горизонтальные 296
- резбонарезные 285, 286
- токарно-револьверные 244, 245
- токарные многолезцовые копирующие 249, 250

**Полуфабрикат 11****Полуцентры упорные 316****Порошки алмазные 626 – 629****Правка абразивных инструментов 653 – 662****Предел:**

- измерений 16

– релаксации 116

– упругости 116

**Предложение техническое 9**

**Преобразователи измерительные 17 – 20**

**Приборы:**

– активного контроля 20, 21

– контрольно-измерительные 686 – 688

**Призмы 157**

**Присадки 890 – 892**

**Приспособления для станков с ЧПУ 825 – 828**

**Проволока 72, 73**

**Программа:**

– выпуска продукции 10

– управляющая 767

**Проект:**

– технический 10

– эскизный 10

**Проектирование технологическое 802 – 847**

**Производство:**

– групповое 10

– единичное 10

– массовое 10

– поточное 11

– серийное 10

**Протягивание 429 – 435, 582**

**Протяжки 435 – 438, 453, 455 – 457**

**Процесс:**

– измерения 15

– производственный 10

– сборки технологический 911

– технологический 11, 122, 123

– технологический единичный 11

– технологический операционный 828 – 834

– типовой 807 – 812

**Прошивки 438, 458**

**Прутки 78 – 80**

## Р

**Рабочие жидкости 733**

**Развертки:**

– нестандартизированные 401 – 402

– сборные 391 – 393

– стандартизированные 386 – 390

– цилиндрические 393 – 400

**Размеры заготовок технологические 923 – 943**

**Расилавы 894**

**Растачивание тонкое алмазное 692**

**Режимы:**

– выглаживания 696, 697

– лазерной обработки 748, 749

**Режимы резания при:**

– долблении 513 – 515

– заточке инструмента 677, 680, 683

– зубодолблении 575

– зубострогании 584, 585

– зубофрезеровании 568 – 570, 584

– зубошевниговании 578

– круговом протягивании 585

– накатывании резьбы 552 – 554

– обработке осевым инструментом 403 – 413

– обработке токарными резцами 321 – 333

– отделочной обработке 692 – 694

– протягивании 460 – 470

– работе метчиками 537, 538

– работе плашками 540, 541

– работе резьбонарезными головками 544

– фрезеровании 491 – 509

– шлифовании 622 – 624, 640 – 642, 652, 653

**Режимы шлифования:**

– абразивными лентами 703

– алмазными лентами 704

**Резцы:**

– алмазные 309

– долбежные 512

– зубострогальные 582

– резьбонарезные 521 – 524

– строгальные 511, 512

– токарные 301 – 305, 309 – 314

**Резьба:**

– метрическая 35

– трапецеидальная 35

**Резьбонакатывание 550 – 552**

**Резьбообразование 518**

**Резьбошлифование** 548 – 550

**РПТМ выпуска** 12

**Ролики алмазные** 659, 660

## С

**Сборка** 12:

– неподвижных неразъемных соединений 917  
– 922

– неподвижных разъемных соединений 912 –  
916

**Сборочная единица** 9

**Сверла для обработки:**

– легких сплавов 375 – 377

– труднообрабатываемых материалов 379, 380

**Сверла:**

– из быстрорежущей стали 373-375, 381, 382

– из твердого сплава 381, 382

– нестандартизированные 401

– одностороннего резания 413-416

– оснащенные пластинами из твердого сплава  
377 – 379

– стандартизированные спиральные 370 – 372

– ступенчатые 402, 403

– цельные твердосплавные 380, 381

**Свойство СОТС:**

– проникающее 888

– смачивающее 888

**Сегменты абразивные** 609, 610

**Серия изделия** 10

**Сертификация** 15

**Сила измерительная** 16

**Символы:**

– адресов 770

– управляющие 770, 771

**Система:**

– гибкая производственная 794, 795

– конструкторской документации единая 9

– координат станков с ЧПУ 777 – 779

**Система ЧПУ** 767:

– замкнутая 789, 790

– разомкнутая 789, 790

**Слова:**

– вспомогательные 844

– главные 844

– ключевые 838, 839

**Смазка:**

– высокого давления 885

– гидродинамическая 885

– граничная 885

**Совместимость** 14

**Соединения:**

– резьбовые 32-36

– шлицевые 42 – 44

– шпоночные 42 – 44

**Сортамент:**

– изделий 70 – 81

– СОТС 896 – 902

**Сплавы:**

– алюминниевые 59 – 63

– литейные 122

– твердые 69, 182 – 199

– титановые 68

**Среда технологическая** 885

**Средства:**

– измерения резьбы 35, 36

– контроля 16 – 21, 684, 685

– технологического оснащения 11

**Среды технологические смазывающе-  
охлаждающие:**

– газообразные 896

– жидкие 890 – 895

– пластичные 895

– твердые 895, 896

**Стабильность размерная** 116 – 121

**Сталь** 51 – 59, 70 – 72:

– быстрорежущая 200 – 207

– конструкционная 52, 57, 58

– легированная 53 – 57

– углеродистая 51, 52, 57, 58

**Станки:**

– абразивно-отрезные 298

– вертикально-сверлильные 252

– вертикально-фрезерные 287, 288

– вертикальные отделочно-расточные 262

– внутришлифовальные 268

– вырезные электроэрозсионные 735, 736, 738  
 – горизонтально-расточные 257, 258  
 – горизонтально-фрезерные 290, 291  
 – долбежные 296  
 – зубодолбежные 574  
 – зубопритирочные 281  
 – зубопротяжные 585  
 – зуборезные 588  
 – зубострогальные 585  
 – зубофрезерные 568, 569, 585  
 – зубохонинговальные 581  
 – зубошвинговальные 578  
 – зубошлифовальные 282, 283, 580  
 – контрольно-обкатные 281  
 – координатно-расточные 253, 254  
 – координатно-шлифовальные 253, 254  
 – копировально-прошивочные 273, 274, 276, 277, 760 – 762, 734, 737 – 739  
 – копировально-фрезерные 292  
 – круглопилильные 298  
 – круглошлифовальные 263 – 265  
 – лазерные 750, 751  
 – ленточно-отрезные 299  
 – многоцелевые вертикальные 255, 256  
 – многоцелевые горизонтальные 260, 261  
 – ножовочные 299  
 – плоскошлифовальные 271, 272  
 – поперечно-строгальные 295  
 – продольно-строгальные 294  
 – продольно-фрезерные 293  
 – радиально-сверлильные 253  
 – расточные 252 – 262  
 – резбонарезные 285, 286  
 – резбофрезерные 285, 286  
 – резбо-шлифовальные 283 – 285  
 – с ЧПУ 249, 250, 291  
 – сверлильные 252 – 262  
 – специальные заточные 669 – 671  
 – строгально-фрезерные 294  
 – токарно-винторезные 247, 248  
 – токарно-карусельные 246  
 – токарно-револьверные 239, 244, 245  
 – токарные 239 – 251

– токарные многолезцовые 250, 251  
 – ультразвуковые 746  
 – универсально-заточные 270, 668  
 – фасонно-отрезные 239  
 – фрезерные 287 – 293, 695  
 – фрезерные широкоуниверсальные 289  
 – червячно-шлифовальные 283 – 285  
 – шлифовальные 263 – 273  
 – шлищшлифовальные 269  
 – электрохимические 270, 273 – 275, 763  
 – электроэрозсионные 275 – 277

**Структура систем ЧПУ 779 – 789**

**Суперфиниширование 697, 699 – 701**

**Схема многоцелевого станка структурная 792**

## Т

**Такт выпуска 11**

**Термическая обработка 124 – 139**

**Технологическая подготовка производства 10**

**Технологичность:**

– детали 815 – 820

– изделия 86 – 87

– конструкции 87 – 91

– отливки 91 – 97

– производственная 86, 87

**Технология обработки маршрутная 820 – 828**

**Тип производства 10**

**Точение тонкое алмазное 692**

**Точка:**

– исходная 778

– нулевая 778

– фиксированная 778

**Точность:**

– кинематическая 36 – 38

– установки 178 – 180

**Трубы 74, 78**

## У

**Уровень автоматизации 834, 835**

Условия технические 9  
 Установ 11  
 Установки лазерные 749  
 Устройства приводные 881 – 884  
 Устройство:  
 – техническое 13  
 – ЧПУ 767  
 Утилизация СОТС 909, 910

**Ф**

Формование 12  
 Формообразование 12  
 Фрезерование 471:  
 – тонкое 694  
 Фрезы:  
 – гребенчатые резьбовые 546 – 548  
 – дисковые 475, 476, 484, 489, 583  
 – концевые 474, 480 – 482, 488  
 – отрезные 484, 485  
 – пазовые 477, 483  
 – полукруглые 485  
 – прорезные 484, 485, 489  
 – с механическим креплением твердосплавных пластин 483  
 – торцовые 472, 473, 480, 489  
 – цилиндрические 471, 472, 480  
 – червячные 566 – 568  
 – шпоночные 474, 482, 483  
 Функции:  
 – вспомогательные 776, 777  
 – подготовительные 772 – 775

**Х**

Характеристика метрологическая 15  
 Хвостовики инструментов 799, 800  
 Ход:  
 – вспомогательный 11  
 – рабочий 11  
 Хонингование 698, 701, 702

**Ц**

Цанги:  
 – зажимные 335  
 – подающие 335

Центры 142:  
 – нестандартные 149  
 – упорные 316  
 Цикл:  
 – производственный 10  
 – технологической операции 11  
 – постоянный 775  
 Цилиндр прилегающий 14

**Ч**

Чертеж:  
 – детали 9  
 – общего вида 9  
 – сборочный 9

**Ш**

Шевингование зубчатых колес 575 – 578  
 Шероховатость 24 – 26  
 Шкурка шлифовальная 613, 614  
 Шлифование:  
 – абразивными лентами 702  
 – бесцентровое 620, 621, 625  
 – внутреннее 619, 620, 625  
 – круглое наружное 617 – 619, 625  
 – плоское 621, 622, 625  
 – тонкое 697, 698  
 Штамповка 97 – 99

**Щ**

Щетки технические 875 – 881

**Э**

Электролиты 756  
 Элементы геометрические 837  
 Эмульсии масляные 892

**Я**

Язык командный 836  
 Ячейка гибкая производственная 794



**СПРАВОЧНОЕ ИЗДАНИЕ**

**Алексей Евгеньевич Древаль,  
Евгений Александрович Скороходов,  
Анатолий Дмитриевич Агеев и др.**

## **КРАТКИЙ СПРАВОЧНИК МЕТАЛЛИСТА**

**Редактор Д.А. Елисеев  
Оформление художника Т.Н. Галицыной  
Корректоры М.Я. Барская, Т.И. Масальская  
Инженеры по компьютерному моделированию  
М.Н. Рыжкова, Е.В. Кораблева, И.В. Евсева**

**Лицензия ИД № 05672 от 22.08.2001**

**Сдано в набор 05.03.2004 г. Подписано в печать 21.12.2004 г.  
Формат 70 × 100/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 78,0. Уч.-изд. л. 89,4. Тираж 3000 экз. Заказ 11416**

**ОАО "Издательство "Машиностроение"  
107076, Москва, Стромьинский пер., 4**

**Оригинал-макет изготовлен в Издательско-полиграфическом центре  
Тамбовского государственного технического университета**

**Отпечатано в ГУП ППП "Типография Наука" РАН  
121099, Москва, Шубинский пер., 6**

**ФГОУ СПО "Ивановский автотранспортный колледж"**



**153032, Россия, г. Иваново, ул. Ташкентская, д. 81**

**Выражаю благодарность всем  
сотрудникам библиотеки колледжа за  
предоставленный экземпляр книги!**

С уважением, AF\_SERGEY! (г. Иваново)  
(e-mail: [af\\_sergey@mail.ru](mailto:af_sergey@mail.ru), icq: 314182503, (ooVoo, skype) ID: af\_sergey)