

Министерство образования Российской Федерации

Томский политехнический университет

В. П. Должиков

**Разработка технологических процессов
механообработки в мелкосерийном
производстве**

Учебное пособие

Допущено Учебно-методическим объединением вузов по образованию в области автоматизированного машиностроения (УМО АМ) в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств» и направлению подготовки дипломированных специалистов – «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Издательство ТПУ

Томск 2003

УДК 621.002:658.523 (075.8)
Д65

Должиков В.П.

Д65

Разработка технологических процессов механо-обработки в мелкосерийном производстве: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 324 с.
ISBN

В пособии представлены основы разработки технологических процессов в условиях мелкосерийного производства. Рассмотрены технологические процессы заготовительного производства, порядок разработки технологических процессов механообработки, элементы базирования, приведены примеры маршрутов механообработки и технологической документации, записи технологических операций в технологической документации. Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров 552900 «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств», специальности 657800 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», специализации «Технология автоматизированного производства».

УДК 621.002:658.523 (075.8)

Рекомендовано к печати Редакционно-издательским советом Томского политехнического университета

Рецензенты

Генеральный директор ФГУП «НПЦ Полюс»,
доктор технических наук, профессор
А.И. Чернышев

Директор НИИ автоматики и электромеханики
при Томском университете автоматизированных
систем управления и радиоэлектроники,
доктор технических наук, профессор
Ю.А. Шурыгин

ISBN

© Томский политехнический университет, 2003
© Оформление. Издательство ТПУ, 2003

Предисловие

С каждым годом во всем мире растет выпуск сложных изделий, применяемых как в быту, так и в производственных условиях. Усложняются как конструкции машин, так и системы управления ими.

Одновременно с усложнением машин возрастают требования к их качеству и дизайну. Для изготовления машин с лучшими характеристиками необходимы новые технологии. Каждая новая технология – это концентрация достижений современной науки и производства. Создание новой технологии чрезвычайно сложный процесс, требующий суммы накопленных знаний техники, технологий, производства, экономики.

В настоящее время изготовление деталей машин в значительной мере связано с механообработкой. В зависимости от типа производства удельный вес механообработки составляет 30...70%. Проектирование технологических процессов механообработки связано с определенными трудностями: в каждом случае необходимо решать сложные многокритериальные задачи со многими параметрами.

Формирование специалиста, способного решать сложные производственные проблемы, длится несколько лет.

В вузовских учебных планах сокращается число аудиторных занятий по направлению 552900 «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств» и направлению 657800 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» по дисциплинам: «Основы технологии машиностроения», «Технология машиностроения», «Технология автоматизированного производства». В то же время отсутствуют учебники и учебные пособия, ориентированные на увеличение доли самостоятельной работы по перечисленным дисциплинам.

В настоящее время значительная часть поступающих абитуриентов не имеет опыта работы с машиностроительным оборудованием. Поэтому применение имеющейся специальной литературы вызывает определенные затруднения. Предлагаемое учебное пособие восполняет имеющийся пробел.

Автор выражает глубокую признательность заведующему кафедрой технологии машиностроения Томского политехнического университета доценту В.Ф. Скворцову и главному технологу ОАО «Томский приборный завод» В.Т. Летягину за ценные замечания и советы при доработке рукописи, технологу Л.А. Шориц за помощь в подборе материала при написании рукописи.

І. Заготовительные операции механообрабатывающего производства

1.1. Классификация заготовительных производств

Детали в механообрабатывающем производстве получают из заготовок. **Заготовка** – предмет труда, из которого изменением формы, размеров, свойств поверхности и (или) материала изготавливают деталь. На заготовительных операциях заготовку приводят к форме и состоянию наиболее удобным для дальнейшей обработки механической, термической, гальванической или другим видом обработки, связанной с получением готовой детали. Выбор заготовки зависит от формы детали и ее размеров, исходного материала, типа и вида производства, наличия необходимого оборудования, требования к качеству готовой детали, экономичности изготовления. При выборе заготовки необходимо стремиться к выбору такой конструктивной формы заготовки, которая бы максимально приближалась к форме и свойствам готовой детали.

Существуют различные способы получения заготовок (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Классификация заготовительных производств

Каждый из них имеет определенные достоинства и недостатки. Выбор способа получения заготовки определяется экономическими расчетами.

Для минимизации затрат в основном производстве в металлургической промышленности изготавливают некоторые виды полуфабриката, имеющие нормализованную (стандартную) форму и свойства, например сортовой прокат.

1.2. Прокат

Прокатке подвергают до 90 % всей выплавляемой стали и большую часть цветных металлов. Форму поперечного сечения прокатанной полосы называют профилем. Совокупность форм и размеров профилей, получаемых прокаткой, называют сортаментом [58]. Сортамент прокатываемых профилей разделяется на четыре основные группы (рис. 1.2): сортовой прокат, листовой прокат, производство труб и специальный прокат.

Прокат обычно производится на металлургических предприятиях, однако специальный прокат может получаться и на машиностроительных предприятиях (например, алюминиевые или др. профили).

Прокат может выпускаться с различными добавками, улучшающими те или иные свойства металла. Например, автоматные стали, выпускаемые специально для последующей обработки на станках-автоматах (токарно-револьверных, автоматах фасонно-продольного течения), содержат специальные добавки, улучшающие обрабатываемость данной стали.

По способу получения и степени точности сортовой прокат делится на горячекатаный, калиброванный и со специальной отделкой поверхности. Самый дешевый прокат – горячекатаный. Горячекатаный пруток (круг) выпускается диаметром от 5 до 270 миллиметров и длиной от 2 (для малого диаметра) до 6 метров и более. Холоднотянутый (калиброванный) прокат выпускается с меньшими допусками по диаметру (толщине для листов) и с меньшей шероховатостью. Но холоднотянутый прокат дороже горячекатаного. Холоднотянутый пруток изготавливают диаметром от 3 до 100 миллиметров нормальной и повышенной точности.

Еще более точные прутки поставляются по ГОСТ 14955–77. По этому стандарту предусмотрено 7 классов точности: 1, 2, 2а, 3, 3а, 4, 5 и четыре группы шероховатости – А, Б, В, Г (табл. 1.2). Наиболее точный – 1 класс. Данный вид проката чаще всего применяется при производстве инструмента, изготавливаемого методом вышлифовывания (например, быстрорежущих сверл). При этом наружный диаметр, как правило, дополнительно не обрабатывается.

Прокат, поставляемый металлургическими предприятиями, имеет стандартные размеры и допуски (табл. 1.1, 1.3).

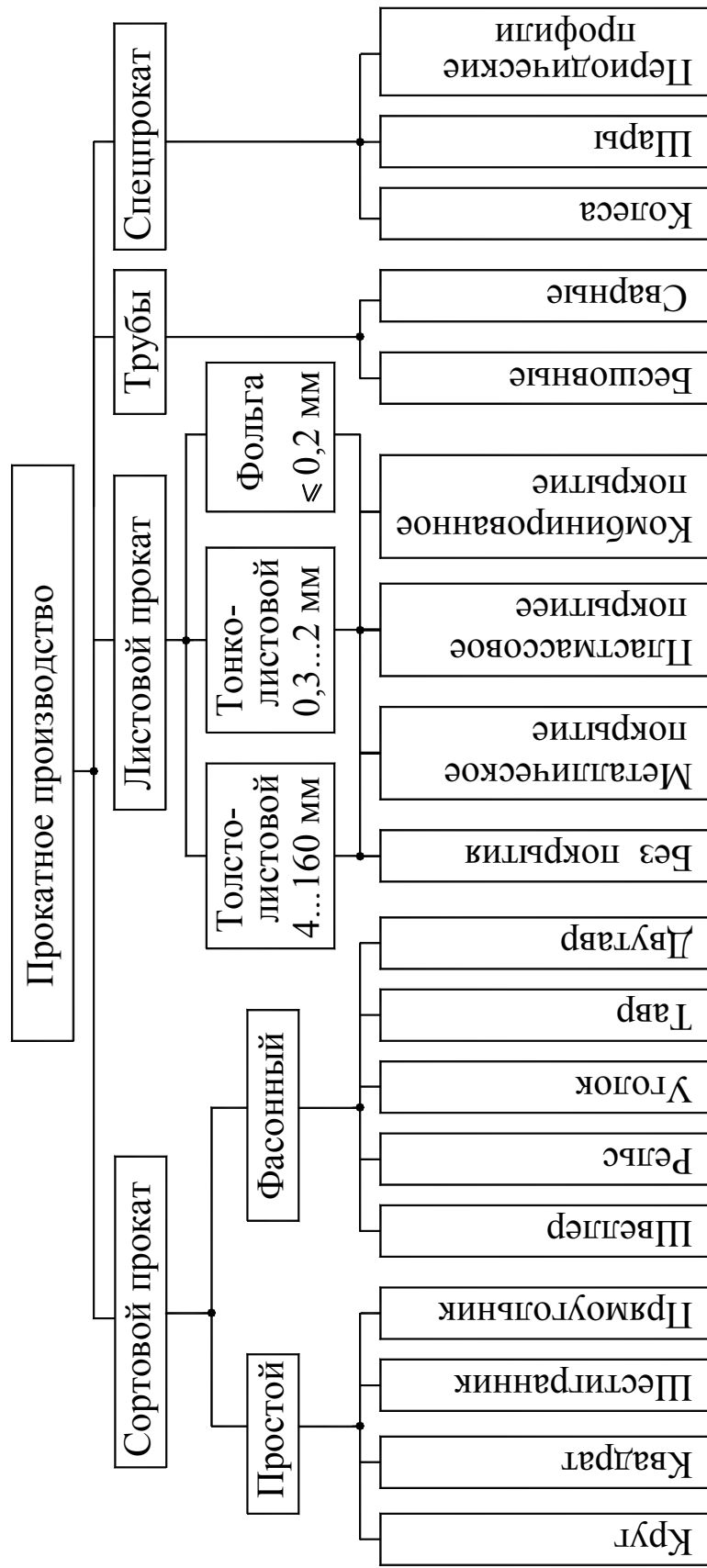


Рис. 1.2. Классификация проката

Таблица 1.1

Габариты проката (выборочно), поступающего с завода-изготовителя

Вид проката	Размеры проката, мм	Допуск на диаметр (толщину листа), мм		
		Горячекатаный	Холоднотянутый (лист хол.катаный)	Со спец. отделкой поверхности; класс точности, 1/3:
Лист				
S = 1 мм	1000 x 2500	± 0,11	± 0,11	
S = 3 мм	1500 x 2000	± 0,12	± 0,19	
S = 5 мм	1500 x 2000	+0,4; -0,5	± 0,23	
S = 13...25 мм	1500 x 3000	+0,6; -0,8	–	
S = 50 мм	1500 x 3000	+0,6; -1,3	–	
S = 100 мм	1500 x 3000	+1,1; -3,1	–	
S = 150 мм	1500 x 3000	+1,9; -4,2	–	
Круг (пруток)				
Ø 1 мм	L=1500			-0,005/-0,02
Ø 3 мм	L=2000		-0,075	-0,005/-0,02
Ø 5 мм	L=2000	+0,3; -0,5	-0,075	-0,005/-0,025
Ø 20 мм	L=3000	+0,4; -0,5	-0,13	/-0,045
Ø 50 мм	L=3000	+0,4; -1,0	-0,16	/-0,05
Ø 100 мм	L=3000	+0,5; -1,3		
Ø 120...155мм	L=3000	+0,8; -2,0		
Ø 160...200мм	L=3000	+0,9; -2,5		
Пример обозначения проката: Пруток 5–Б–h9–Т 20X13 ГОСТ 14955–77, где 5 – диаметр прутка; Б – группа точности; h9 – допуск на диаметр, Т – термообработан; 20X13 – марка материала				

Таблица 1.2

Точность и шероховатость прутков со специальной отделкой поверхности

Группа шероховатости	Шероховатость Ra, мкм	Класс точности
А	0,32	1, 2, 2а, 3, 3а
Б	0,63	2, 2а, 3, 3а, 4
В	1,25	2а, 3, 3а, 4
Г	2,5	3, 3а, 4, 5

Таблица 1.3

Трубы бесшовные

Диаметр трубы, мм	Длина трубы, мм	Допуск на диаметр, мм		Толщи- на стенки, мм	Допуск на толщину стенки, мм	
		Х/ка- таная	Г/ка- таная		Х/катаная	Г/катаная
6...10	1500	±0,15	±0,15	До 1	±0,12	±0,12
19...28	2000	±0,3	±0,3	1...5	±10%	±10%
32...50	2000	±0,4	±0,4	5...10	±8%	±8%
51...95	3000	±1%	±1%	10...15	±1%	±1%
51...219	3000		±1,25%	15...30	+12,5; -15%	+12,5; -15%
Св. 220	3000		±1,25%	Св. 30	+10%; -12,5%	+10%; -12,5%

Примечание: Х/катаная – холоднокатаная; г/катаная – горячекатаная
 Пример условного обозначения трубы с наружным диаметром
 30 мм, толщиной стенки 3 мм
 из стали марки 10: Труба $\frac{30 \times 3,0 \text{ ГОСТ } 8734 - 75}{10 \text{ ГОСТ } 8733 - 87}$

1.3. Ковка

Ковка – вид горячей обработки металлов давлением, при котором металл деформируется с помощью универсального инструмента. Нагретую заготовку укладывают на нижний боек, а верхним бойком последовательно деформируют отдельные ее участки, при этом металл свобод-

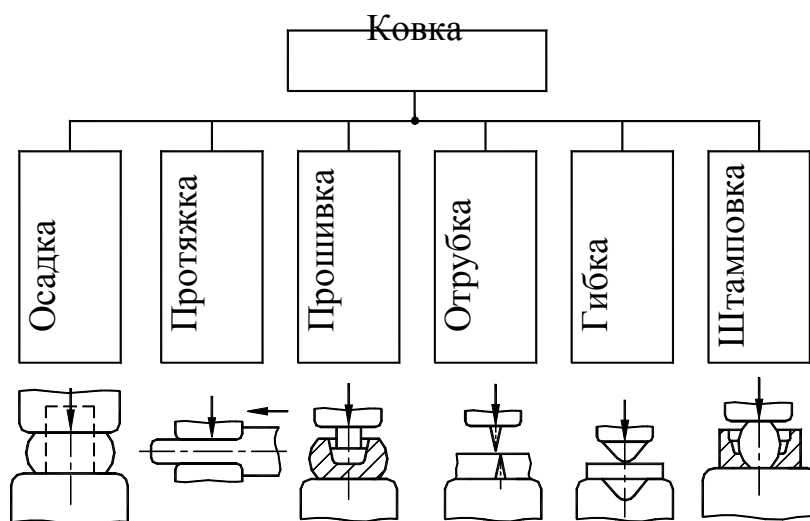


Рис. 1.3. Операции ковки

но течет в разные стороны [58]. Различают следующие основные операцииковки (рис. 1.3): протяжка, прошивка, отрубка, гибка, штамповка в подкладных штампах.

Полученные заготовки называют **поковками**. В дальнейшем их подвергают механической обработке для получения готовых деталей. Ковка широко применяется в мелкосерийном производстве. Наиболее распространена осадка – получение из сортового проката заготовки большего диаметра. Каждое предприятие имеет свой оптимальный набор операций и применяемого стандартного инструмента и приспособлений дляковки.

1.4. Холодная штамповка

Штамповка – обработка металлов давлением с помощью штампа. **Штамп** – технологическая оснастка, посредством которой заготовка приобретает форму и (или) размеры, соответствующие поверхности или контуру рабочих элементов штампа. **Холодная штамповка** – процесс, протекающий без предварительного разогрева заготовки. Как правило, после штамповки изменяются исходные физические свойства материала заготовки, которые должны при необходимости восстанавливаться термической обработкой. Холодная штамповка позволяет получить заготовки и детали сложной формы 9...7 качества точности и шероховатостью Rz 10... Rz 1,6 (рис. 1.4).

Холодную штамповку подразделяют на объемную штамповку (сортового металла) и листовую штамповку (листового металла). Для производства изделий методом холодной штамповки применяется специальное оборудование, рассчитанное на выполнение одной какой-нибудь операции. Это существенно снижает номенклатуру получаемых деталей. Листовой штамповкой получают заготовки и детали из листового, ленточного и полосового материала способом вырубки, гибки, вытяжки, отбортовки в штампах на прессах.

Одной из разновидностей методов холодной штамповки является **поэлементная штамповка**. В основе этого метода лежит обработка заготовки из листа последовательным воздействием одного или нескольких инструментов, имеющих простейшую форму: отрезок линии, отрезок окружности определенного радиуса или отрезок кривой специального профиля. Меняя инструмент, можно получить самые разнообразные обработанные поверхности (рис. 1.5).

Из всего разнообразия машин для поэлементной штамповки в мелкосерийном производстве наибольшее распространение получили

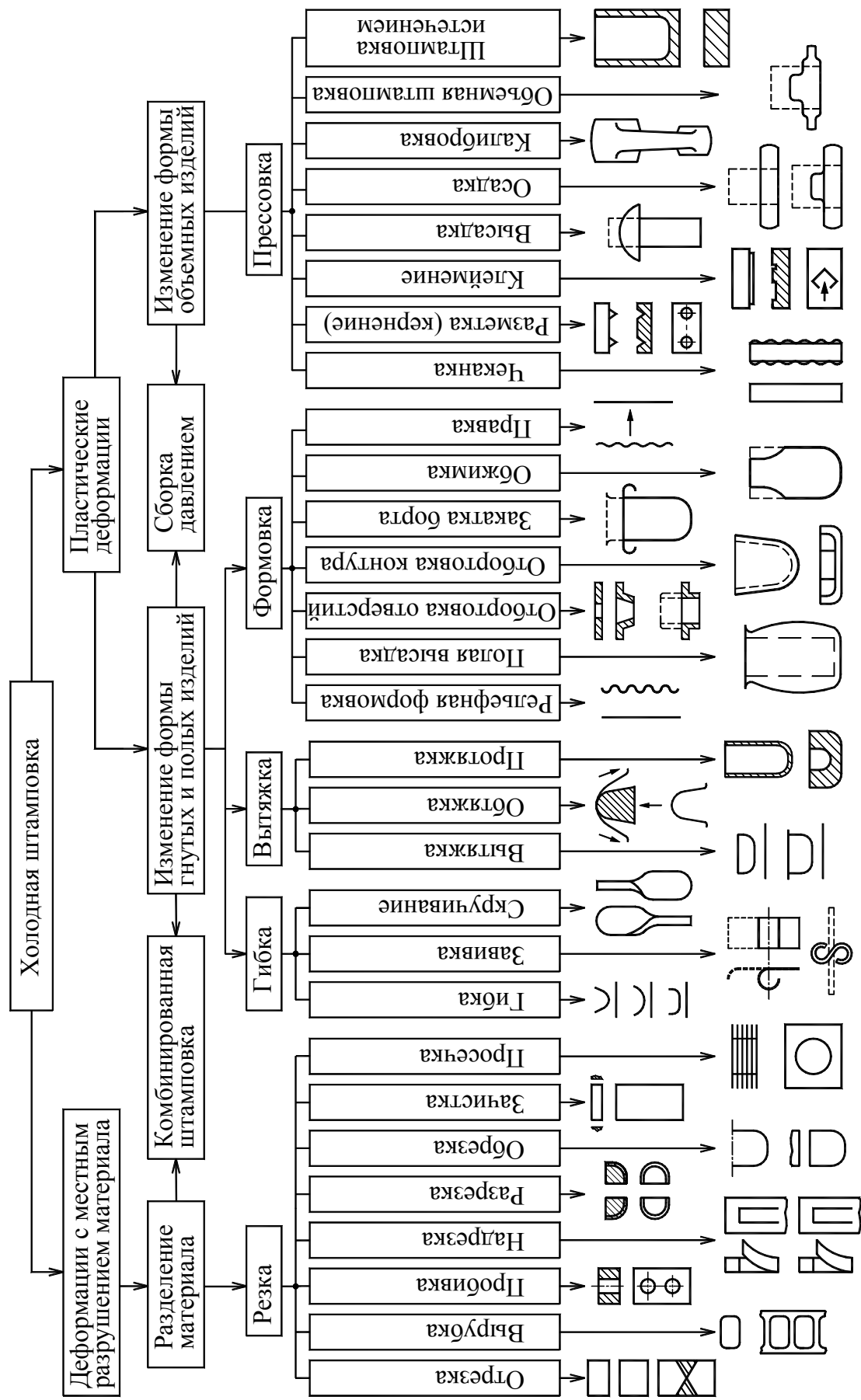


Рис. 1.4. Классификация основных процессов и операций холодной штамповки [11]

револьверно-вырубные прессы с программным управлением. На этом оборудовании выполняются следующие операции:

- разделительные (пробивка, отрезка, разрубка);
- формоизменяющие (вытяжка ребер жесткости, пробивка жалюзей);
- вибрационной высечки (обработка отверстий сложной геометрической формы и отверстий, при вырубке которых превышает максимальное усилие пресса).

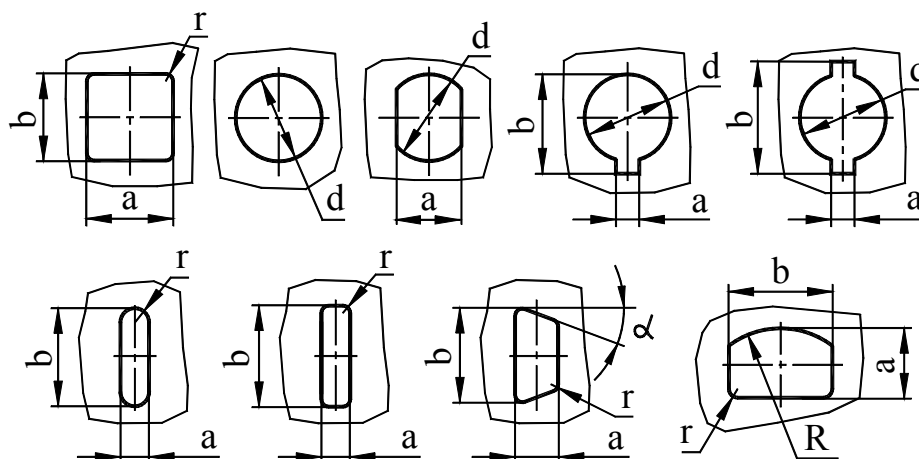


Рис. 1.5. Примеры форм пробиваемых отверстий

На наиболее распространенной модели пресса «BEHRENS V20» обрабатываются заготовки размерами 1270 x 1270 мм и толщиной от 1 до 6 мм из стали, меди, алюминия и других материалов и сплавов.

Наличие программного управления позволяет быстро переналаживать данное оборудование.

Погрешности формы могут быть устранены фрезерованием на этом же станке с помощью специального приспособления или на отдельном фрезерном станке.

Метод получил широкое распространение в мелкосерийном производстве.

Запись операции холодной штамповки (холодная высадка заготовок под винты) **в технологической документации** производится следующим образом:

11 2 020 2122–0011 Холодновысадочная

1. Изготовить деталь согласно операционному эскизу,

где 11 – номер цеха, 2 – участок цеха, 020 – номер операции, 2122–0011 – код операции (высадка), холодновысадочная – название операции.

1.5. Горячая объемная штамповка

Горячая объемная штамповка – вид обработки металлов давлением, при котором формообразование поковки из нагретой заготовки осуществляют с помощью специального инструмента – штампа. Изделие, полученное технологическим методом штамповки, является **штампованной поковкой** (рис. 1.6).

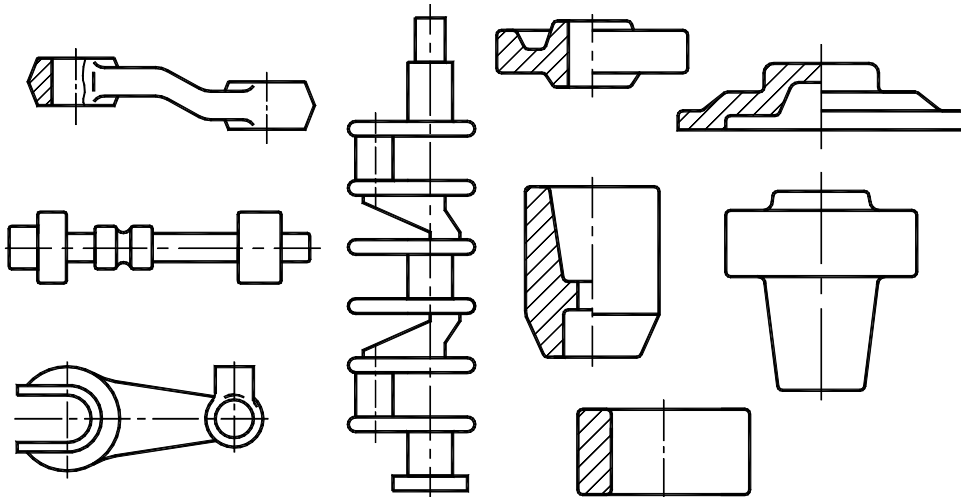


Рис. 1.6. Штампованные поковки [11]

В качестве заготовок для горячей штамповки применяют прокат различного профиля: круг, квадрат, прямоугольник, а также периодический профиль. Перед штамповкой прокат разделяется на мерные заготовки различными способами: на круглопильных станках, прессножницами, газовой горелкой и др.

Заготовка, нагретая до оптимальной температуры, помещается в полость одной из половин штампа, где она под силовым воздействием второй половины приобретает заданную форму (копирует форму штампа).

Горячей объемной штамповкой изготавливают заготовки для ответственных деталей станков, автомобилей, сельскохозяйственных машин, тракторов, самолетов, железнодорожных вагонов и др.

По сравнению с ковкой штамповка имеет ряд преимуществ:

- получение поковок сложной формы без напусков;
- значительно меньшие допуски на изготовление;
- после штамповки обрабатываются только сопрягающиеся поверхности;
- высокая производительность.

Главный недостаток штамповки – значительная стоимость штампа, который изготавливается только для одного вида изделия. Поэтому горячая штамповка находит свое применение в крупносерийном и массовом производстве.

1.6. Волочение

Процесс волочения заключается в протягивании заготовки через постепенно суживающееся отверстие в инструменте, называемом фильерой. Фильера (волока, матрица) представляет собой кольцо (рис. 1.7, а),

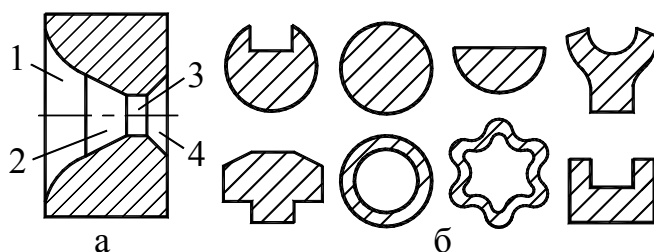


Рис. 1.7. Волочение:

а – волока, б – профили, получаемые волочением; 1 – входная зона, 2 – деформирующая зона, 3 – калибрующий пояс, 4 – выходной конус

рабочее отверстие которого состоит из нескольких зон: входной (смазочной) зоны 1, деформирующей зоны 2, калибрующего пояса 3, выходного конуса 4. В зависимости от протягиваемого материала фильеру изготавливают из инструментальной стали, твердого сплава или алмаза (для получения проволоки диаметром менее 0,2 мм).

Сортамент, получаемый волочением, весьма разнообразен: проволока диаметром 0,002...10 мм, фасонные профили (рис. 1.7, б), трубы диаметром 0,3...500 мм с толщиной стенки от 0,05 до 6 мм соответственно. Волочение выполняют на специализированных предприятиях серийного и массового производства.

1.7. Литье

Литье – изготовление заготовки или изделия из жидкого материала заполнением им полости заданных форм и размеров с последующим затвердением. Этим способом получают заготовки сложной формы, которые нельзя экономично сделать другими способами, например, коробчатые заготовки (станины станков), кронштейны, шарниры и др.

Для производства отливок применяют материалы и сплавы, имеющие хорошую текучесть в жидком виде. Для повышения литейных свойств в исходные материалы добавляют соответствующие присадки. Процесс получения отливок выполняется в следующей последовательности: изготовление формы; плавка материала, заливка жидкого материала в форму; охлаждение и затверждение материала в форме; извлечение заготовки из формы; удаление литниковой системы и зачистки отливки. Для ответственных заготовок дополнительно производится искусственное или естественное старение.

Наиболее часто применяются следующие виды литья (рис. 1.8): литье в землю, литье в оболочковые формы, литье по выплавляемым моделям, литье в кокиль, литье под давлением, центробежное литье, непрерывное литье.

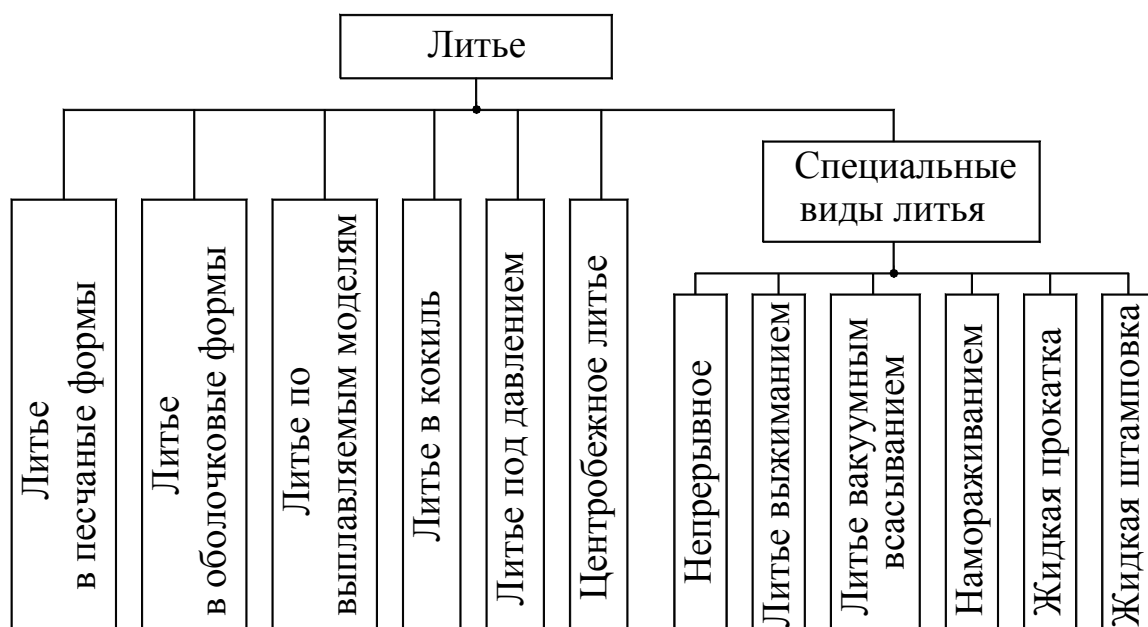


Рис. 1.8. Классификация литья

Выбор того или иного способа литья зависит от типа производства, сложности конфигурации, размеров, и материала детали, требуемой точности и шероховатости поверхности, экономической целесообразностью.

Литье в песчано-глинистые формы. Для производства отливок используются сплавы черных металлов: серые, высокопрочные, ковкие и другие виды чугунов; углеродистые и легированные стали; сплавы цветных металлов; медные (бронзы и латуни), цинковые, магниевые и алюминиевые сплавы; сплавы тугоплавких металлов: титановые, молибденовые, вольфрамовые и др.

По чертежу готовой детали проектируется чертеж отливки, учитывающий особенности процесса литья: усадку, формовочные уклоны, галтели, припуск на механическую обработку и др. Кроме того, прорабатывается литниковая система, через которую жидкий металл будет поступать в форму. Затем изготавливаются модели и стержневые ящики (деревянные для единичного производства, металлические для крупносерийного и массового производства). Литейная форма, состоящая из двух полуформ, изготавливается в следующей последовательности: уплотнение формовочной смеси для точного отпечатка модели в форме и придание форме достаточной прочности; устройство вентиляционных каналов для выводов газов из полости формы, образующихся при заливке; извлечение модели из формы; отделка и сборка формы.

В форму заливается жидкий металл, который охлаждается заданное время (минуты для небольших деталей, часы и сутки для объемных деталей). Охлажденная деталь выбивается из формы, форма при этом разрушается. Полученная таким образом отливка дополнительно обрабатывается: удаляются прибыли, литники, облой по месту сопряжения полуформ. После чего производится очистка отливок: удаление пригара, остатков формовочной и стержневой смеси.

Преимущества литья в песчаные формы – наиболее простой способ литья, универсальность метода, формовочные материалы не дефицитны и дешевы, возможность получения отливки любой конфигурации, из любых металлов и любой массы.

Недостатки литья в песчаные формы: грубая поверхность отливки, большой припуск на механическую обработку, большой расход металла на литники, очень низкие санитарно-гигиенические условия труда. Кроме того, для данного вида литья характерно образование горячих и холодных трещин, пустот, газовых раковин и пористости в отливке, коробление отливки под влиянием внутренних напряжений.

Литьем в песчаные формы получают заготовки для деталей в автотракторной промышленности, в сельскохозяйственном машиностроении, в станкостроении, при изготовлении промышленных роботов и др. Данный вид литья часто применяется в опытно-конструкторском и мелкосерийном производстве.

Литье в оболочковые формы является улучшенной модификацией литья в глинисто-песчаные формы. Отливки получают в тонкостенных формах-оболочках толщиной 6...15 мм, изготовленных из песчано-смоляных смесей. Смесь состоит из кварцевого песка и 6...7% формальдегидной порошкообразной смолы. Смола при 70°C размягчается и при температуре 120°C плавится, превращаясь в клейкую массу. При температуре 200...300°C смола становится твердой и при повтор-

ном нагреве не расплавляется. При температуре 450°C смола выгорает. Учитывая эту особенность смолы, строится техпроцесс литья. Формовочная смесь засыпается на нагретую металлическую плиту с закрепленной на ней моделью. Под действием тепла подмодельной плиты формовочная смесь, расплавляясь, обволакивает модель слоем заданной толщины. Затем освобожденную от нерасплавленной смеси плиту нагревают в печи до температуры отвердевания. После охлаждения модель отделяют от полученной полуформы и жестко соединяют с другой половиной полуформы. В полученную форму заливают металл. После охлаждения металла форма легко разрушается, освобождая отливку.

Преимущества метода: литье отличается высокой чистотой поверхности и высокой точностью размеров отливок сложной конфигурации ($\pm 0,2$ мм на 100 мм длины). Хорошая газопроницаемость формы обеспечивает отсутствие газовых пор. Легко удаляется отливка из формы, так как при выгорании смолы создается тонкая газовая рубашка, которая защищает поверхность отливки от пригара смеси. Форма легко разрушается. Расход формовочной смеси в 5...10 раз меньше, чем при литье в земляные формы.

Недостатком метода является дороговизна эпоксидной смолы, а также ограничение размеров и массы отливок.

Данный способ применяется для отливки чугунных коленчатых валов автомобилей, чугунных ребристых цилиндров для тяжелых мотоциклов, литого режущего инструмента и других отливок.

Литье по выплавляемым моделям. В качестве материала для модели используют легкоплавкие модели из смеси парафина и стеарина, из пенопласта и др.

Модель (или блоки моделей) соединяют с литниковой системой и погружают в клейкую огнеупорную суспензию, сушат, снова погружают в суспензию до тех пор, пока не образуется форма толщиной 5...8 мм. Модель выплавляют из формы горячим воздухом или паром при температуре 120...150°C. Готовую форму прокаливают при температуре 850...900 °C, при которой остатки легкоплавкого сплава выгорают. Форма при этом превращается в прочную керамическую оболочку. Форму заливают металлом. После остывания металла форму разбивают, остатки формы удаляют в специальных растворах.

Преимущества. Отсутствие у формы разъема обеспечивает повышенную точность отливки. Важным преимуществом способа является возможность получения отливок самой сложной формы практически из любых сплавов. Высокая точность и чистота отливки позволяет исключить механическую обработку. Недостатком способа является длительный технологический процесс и высокая стоимость отливки.

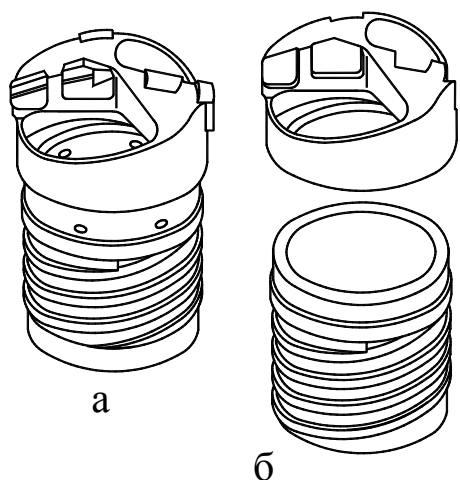


Рис. 1.9. Литье по выплавляемым моделям: а – головка эжекторного сверла (готовое изделие); б – элементы головки эжекторного сверла, полученные методом литья по выплавляемым моделям

Применяется способ в массовом и серийном производстве. Способ незаменим при изготовлении отливок из труднообрабатываемых сплавов (жаропрочных, магнитных, инструментальных), лопаток реактивных двигателей, челноков швейных машин, головок режущего инструмента (рис. 1.9) и т.п.

Литье в металлические формы (кокиль). Металлические формы (кокили) изготавливают из чугуна, стали и других сплавов. Кокили применяют в основном для получения отливок из цветных металлов, реже – из стали и чугуна.

Конструкции кокилей весьма разнообразны, они могут быть съемными, несъемными, но чаще всего кокиль изготавливают из двух половин. Внутренняя рабочая часть кокиля соответствует внешней конфигурации отливки. После затвердевания металла кокиль раскрывают и из него вынимают отливку. Чтобы уменьшить скорость охлаждения отливок, избежать образования закаленного слоя и повысить стойкость кокиля, на его внутреннюю поверхность наносят теплоизоляционные, противопожарные покрытия. Покрытия, в зависимости от назначения, могут быть тонкостенные (до 0,5 мм для цветных металлов) и футерованные (с толщиной покрытия до 100 мм для чугунов). Кокиль – форма многократного использования. В нем можно получить до 300 стальных отливок или несколько тысяч отливок из алюминиевого сплава.

Преимущества. Кокиль обеспечивает получение отливок с высоким качеством металла, повышенной точностью и чистотой поверхности.

Недостатки – высокая стоимость кокиля и трудоемкость его изготовления. Можно отливать заготовки только относительно простой конфигурации. При литье в металлические формы из-за быстрого охлаждения уменьшается жидкотекучесть расплава. Возможно возникновение газовой пористости из-за отсутствия газопроницаемости формы. Литье в металлические формы применяется и как самостоятельный способ, и в других способах литья (литье под давлением, центробежное литье).

Литье под давлением. Литье под давлением – наиболее производительный способ изготовления отливок из цветных металлов с высокой точностью и чистотой поверхности. Расплавленный металл заполняет стальную пресс-форму под давлением до 3000 атм., быстро затвердевает и образует отливку. Процесс заливки длится несколько секунд. Существует несколько разновидностей этого способа. Различают литье под высоким давлением и литье под низким давлением.

Преимущества метода. Высокая производительность (до 3000 отливок в час), высокая точность и чистота поверхности, возможность автоматизации процесса и встраивания в автоматические линии.

Недостатки: высокая стоимость оборудования и пресс-форм, ограниченная масса отливок, газоусадочная пористость отливок.

Применяется способ в массовом производстве для отливки заготовок сложной формы с различными выступами, приливами и отверстиями: корпусов электродвигателей из силумина, блоков цилиндров двигателей внутреннего сгорания, а также литья из других цветных сплавов.

Центробежное литье. При этом способе отливки получают свободной заливкой во вращающиеся формы. Отливки формируются под действием центробежных сил. Центробежные силы отбрасывают заливаемый металл к стенкам формы, где он затвердевает, образуя пустотелую отливку. Центробежным литьем в промышленности получают чугунные и стальные трубы, кольца, зубчатые колеса и другие отливки типа тел вращения. Отливки получают большой плотности и с высокими механическими свойствами. Центробежным литьем можно получать тонкостенные отливки из сплавов с низкой текучестью. К недостаткам центробежного литья относится трудность получения качественных отливок из сплавов, склонных к ликвации, и невозможность выполнения отверстий точных размеров. Размеры отверстий отливок, изготавливаемых этим способом, зависят от количества залитого в форму металла.

Непрерывное литье. Жидкий металл, проходя через кристаллизатор, охлаждается, быстро затвердевает. Затвердевший металл в виде непрерывной ленты вытягивают с определенной скоростью, которую затем разрезают на куски заданной длины. Этим способом получают отливки с параллельными образующими из чугуна, медных, алюминиевых и других сплавов. Благодаря направленному затвердению сплава отливки не имеют неметаллических включений, усадочных раковин и пористости.

Литье выжиманием применяют для получения тонкостенных крупногабаритных отливок типа панелей размерами до 1000...2500 мм с

толщиной стенки 2...5 мм из алюминиевых и магниевых сплавов. Металл заливается между двумя параллельными, в размер отливки, полуформами, излишки которого вместе с включениями выжимаются в специальную емкость.

Литье вакуумным всасыванием. Водоохлаждаемая литейная форма, опирающаяся на керамический поплавок, заполняется расплавленным металлом из печи за счет разрежения, создаваемого в форме вакуумным насосом. Во время непродолжительной выдержки формируется отливка.

Способ применяется для получения втулок, вкладышей подшипников скольжения и других отливок простой формы из дорогих и дефицитных бронз и латуней. Преимущество – получение качественных отливок без расхода металла на литники и прибыли.

Литье намораживанием. Суть способа в том, что образование отливки происходит в результате последовательного затвердевания металла – его "намораживание" на затравку. На поверхность жидкого металла помещают керамический поплавок с отверстием, соответствующим сечению отливки. В мениск выступающего из отверстия металла вводят затравку. При ее подъеме из отверстия поплавок за счет сил поверхностного натяжения постепенно вытягивается жидкий металл, затвердевающий ("намораживающийся") и образующий отливку. Скорость вытягивания должна быть синхронизирована со скоростью охлаждения и затвердевания металла.

Способ применяется для получения лент шириной 100 мм и более, труб с внутренними и наружными ребрами и других изделий сложного профиля из алюминиевых сплавов.

Жидкая прокатка – совмещенный способ литья и прокатки, при котором жидкий металл пропускается между двумя охлаждаемыми валками. В зазоре между валками происходит кристаллизация металла. Затвердевший металл в пластичном состоянии выжимается из зазора в виде ленты. Так получают ленты из алюминия, чугуна и других сплавов шириной 750 мм и толщиной 0,7...2,5 мм.

Жидкая штамповка занимает промежуточное положение между литьем и объемной штамповкой. Порцию жидкого металла заливают в металлическую форму (матрицу), в которую затем опускается металлический пуансон, выдавливающий металл и заставляющий его заполнять все полости формы. В результате между формой и пуансоном образуется отливка.

Способ пригоден для сплавов на медной, алюминиевой, магниевой и цинковой основе. Отливки приобретают высокую плотность и ме-

ханические свойства благодаря интенсивному теплоотводу и горячему деформированию литой структуры в процессе кристаллизации.

Дефекты отливок

Причин возникновения брака в литейном производстве довольно много: неудачная конструкция самой детали или литниковой системы, некачественные формовочные материалы, плохое качество шихты, нарушения технологии при формовке, заливке форм и охлаждении отливок (рис. 1.10).

Частично дефект обнаруживается при контроле отливок после литья: несоответствие по геометрии, дефекты поверхности, несплошности

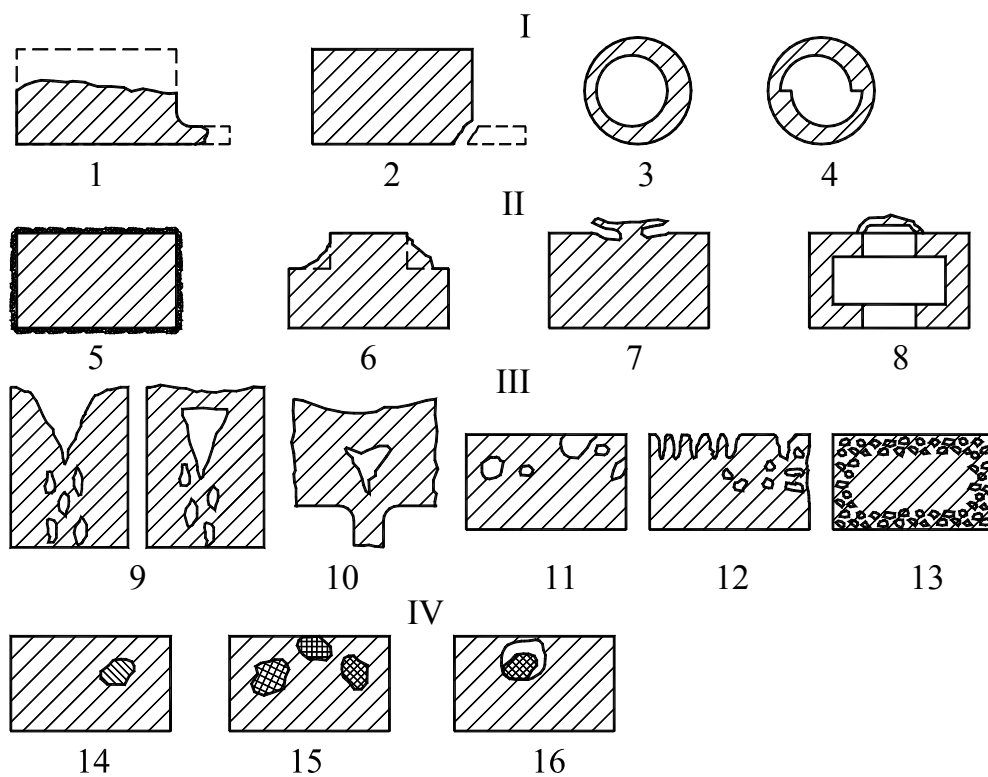


Рис. 1.10. Схема основных видов литейных дефектов [56]:

I – несоответствия по геометрии: 1 – недолив, 2 – вылом, 3 – перекос, 4 – разностенность; II – дефекты поверхности: 5 – пригар, 6 – нарост, 7 – ужимина, 8 – залив; III – несплошности в теле отливки: 9 – усадочные раковины, 10 – газовые раковины, 11, 12, 13 – пористость; IV – включения: 14 – металлические, 15 – неметаллические, 16 – королек

в теле отливки. Однако часть дефектов (усадочные и газовые раковины, различные включения) трудно определить без применения соответствующей диагностической аппаратуры. При дальнейшей обработке резанием для ответственных деталей необходимо выполнять входной контроль.

Запись литейной операции (литье в песчаные формы) в технологической документации производится следующим образом:

98 1 020 1065–0004 Литейная

1. Отлить заготовку согласно чертежу на отливку

В последние годы наметилась тенденция увеличения доли керамических деталей в изделиях. Существует ряд материалов (ситаллы, гранулят плавленных горных пород и др.), изделия из которых получают литьем под давлением. Разработаны соответствующие технологические процессы литья для таких материалов. Типовые техпроцессы состоят из ряда основных и подготовительных операций. Основной блок операций для получения детали «Сферическая опора» (рис. 1.11) выглядит следующим образом:

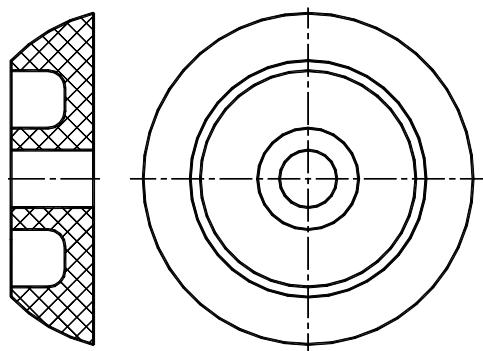


Рис. 1.11. Сферическая опора

005 2 41 271020 Технохимическая
Приготовить шликер по ТТП 01200-00075

010 1 42 140019 Литейная
Отлить деталь по ТТП 01212-00062

020 2 42 928017 Контрольная
Произвести рентгеновский контроль всех заготовок

025 1 24 730020 Термическая
Произвести утильный обжиг по ТТП 01250-00096

030 1 11 397002 Слесарная
Зачистить литник

035 1 24 730020 Термическая
Произвести окончательный обжиг по ТТП 01250-00097

Каждый из указанных типовых технологических процессов (ТТП) содержит несколько операций. Таким образом, весь технологический

процесс получения деталей из керамических материалов может содержать несколько десятков операций.

1.8. Сварка

Принцип действия сварки основан на явлении притягивания одного тела при попадании в зону действия межатомных связей другого тела и образования между ними прочной межатомной связи.

Реальные тела имеют весьма неровные поверхности и всегда покрыты слоем адсорбированных (притянутых) газов, паров воды, окислов и т.д. Поэтому реальные тела при соприкосновении не свариваются друг с другом. Чтобы сварить два металлических тела, надо, во-первых, тщательно очистить свариваемые поверхности; во-вторых, привести в соприкосновение эти тела, обеспечив тем самым расстояние между поверхностями атомов порядка 2...4 ангстрем. Для этого применяют два основных средства: нагрев и давление. Нагрев помогает размягчить металл, чтобы при сдавливании легко сминались неровности на свариваемых поверхностях, и возникало взаимодействие поверхностных атомов. Если заготовки в зоне сварки нагреваются до расплавления, то взаимодействие жидкого металла свариваемых заготовок происходит без внешнего давления, жидкий металл сливается в один объем (в одну каплю). В зависимости от того, прикладываются к заготовкам в процессе сварки давление или нет, существующие способы сварки делятся на две группы: сварка давлением и сварка плавлением.

Сваркой называется технологический процесс получения неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между соединяемыми частями при их нагревании и (или) пластическом деформировании. Существует большое количество разнообразных технологических процессов сварки (рис. 1.12), охватывающих различные отрасли народного хозяйства. В каждом конкретном случае применяется соответствующее данному способу сварки технологическое оборудование, оснастка и инструмент.

Сварка может применяться как основной технологический процесс (рис. 1.13, а), как заготовительное производство при последующей механообработке (рис. 1.13, б) и как встроенный процесс в другие виды механообработки (рис. 1.13, в).

Как основной технологический процесс, сварка применяется в судостроении при изготовлении цельносварных корпусов судов, при про-

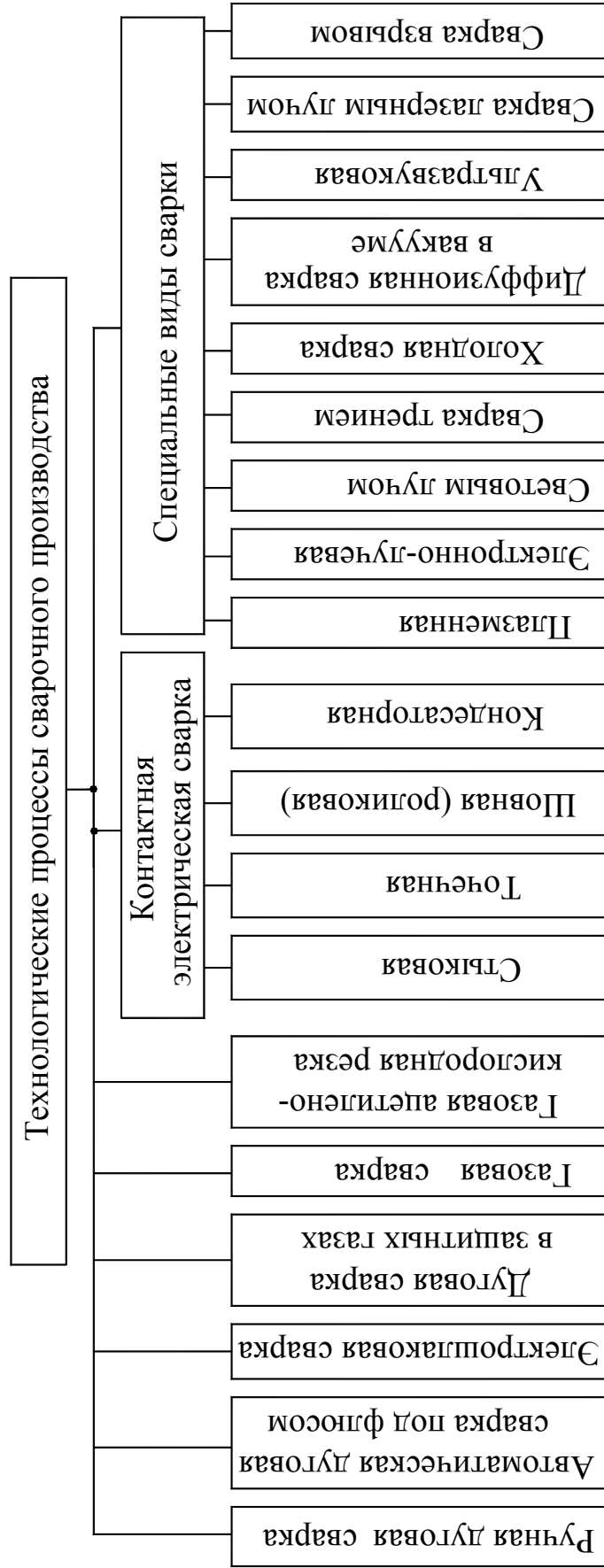


Рис. 1.12. Классификация технологических процессов сварочного производства

кладке нефте- и газопроводов, при строительстве домен и больших резервуаров для хранения жидкости и газов.

Сварка трением используется, например, для получения заготовки сверла, обрабатываемой затем методами резания.

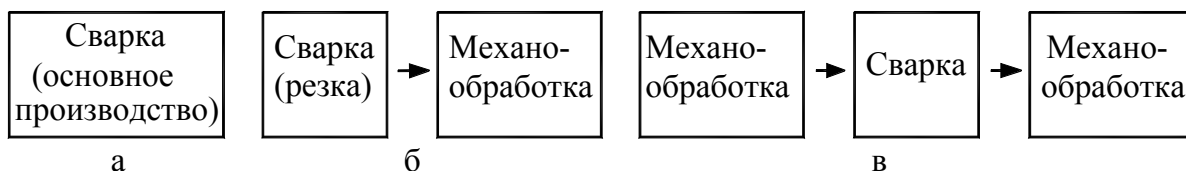


Рис. 1.13. Сварка в механообрабатывающем производстве

В механообработке сварка очень часто встраивается в технологический процесс для получения неразъемного соединения двух или нескольких деталей для получения более сложной детали, изготовление которой механообработкой или затруднено, или связано с большим расходом металла.

Для получения качественного сварного соединения производят подготовку свариваемых заготовок под сварку. Очищают свариваемые кромки от ржавчины, окалины, масла, влаги, наличие которых приводит к образованию пор, включений и других дефектов. Для этого вводят подготовительные операции, гарантирующие получение качественных заготовок, например, пескоструйную операцию.

При сборке заготовок под сварку необходимо обеспечить требуемую точность базирования и закрепления с помощью сборочно-сварочного приспособления.

В общем случае различают ручную сварку (рис. 1.14) и автоматическую. Ручная сварка применяется в единичном и мелкосерийном производстве, автоматическая – в крупносерийном и массовом.

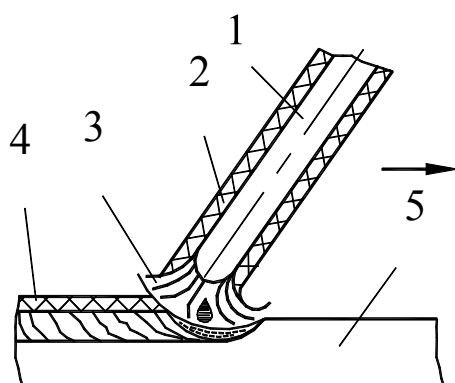


Рис. 1.14. Схема процесса ручной дуговой сварки [58]: 1 – электрод, 2 – покрытие электрода, 3 – защитный газ, 4 – шлак, 5 – изделие

Преимущества ручной сварки:

- универсальность способа, ею можно сваривать все металлы, любые конструкции во всех пространственных положениях;
- большая оперативность способа позволяет производить сварку во многих ситуациях (при авариях, при ремонте в полевых условиях и т.п.);
- простота процесса и оборудования;
- возможность получения высоко-

кокачественных соединений.

Недостатки ручной сварки:

- качество шва зависит главным образом от квалификации сварщика;
- тяжелые условия выполнения сварки (в условиях сквозняков из-за сильной вентиляции или под открытым небом в зимних условиях);
- низкая производительность.

Наиболее производительной является автоматическая сварка. При автоматической дуговой сварке все сварочные операции (вместо сварщика) выполняет автомат: зажигание дуги и поддержку стабильного ее горения, защиту сварочной ванны от вредного влияния воздуха, подачу сварочной проволоки и флюса в зону сварки, передвижение дуги вдоль шва, заварку кратера по окончании сварки.

Преимущества автоматической сварки:

- автоматическая сварка производительнее ручной в 10 и более раз за счет непрерывности процесса и применения более высоких сварочных токов;
- данный способ обеспечивает более эффективное использование тепла и в связи с этим большой КПД;
- большие токи и отсутствие разбрызгивания металла позволяет сваривать заготовки большой толщины.

Недостатки автоматической сварки:

- автоматическая сварка возможна только в нижнем положении;
- ограничено применение сварки – в основном только для прямолинейных швов и швов небольшой кривизны;
- при сварке под флюсом затруднен контроль за процессом.

Применяемость технологических процессов сварки

Ручной дуговой сваркой выполняется более 50% всех сварных соединений. Данный способ применяется во всех отраслях народного хозяйства. Ручной дуговой сваркой сваривают все малоуглеродистые и низколегированные стали. При сварке сталей с повышенным содержанием углерода или легирующих элементов требуется зачастую предварительный, сопутствующий и последующий подогрев для предотвращения закалочных трещин.

Автоматическая дуговая сварка под флюсом применяется для сварки всех низкоуглеродистых сталей (Ст 1, Ст 2, Ст 3, 10, 15, 25), низколегированных, высоколегированных, титана и его сплавов, меди, алюминиевых сплавов типа АМгб. Применяется для сварки брони танков, железнодорожных цистерн, корпусов морских судов.

Электрошлаковая сварка позволяет сваривать за один проход, без разделки кромок, заготовки толщиной 50...2000 мм из любой стали, меди, алюминия, титана, и их сплавов. Чаще всего используется в тяжелом и транспортном машиностроении.

Дуговая сварка в защитной среде инертных газов. Наибольшее распространение получили аргонодуговая сварка и сварка в среде углекислого газа.

Аргоно–дуговая сварка применяется для соединения деталей из цветных металлов и легированных сталей. Наиболее часто применяется для сварки алюминиевых и магниевых сплавов.

Сварка в среде углекислого газа предназначена для соединения обычных углеродистых сталей (Ст1, Ст2, Ст3, 10, 20, 30) и для некоторых низколегированных сталей (19Г, 14Г2 и др.). Данный способ сварки эффективен для соединения тонколистовых сталей. Способ применяется в химической промышленности для сварки цветных сплавов и нержавеющей сталей, работающих под большим давлением (до 600 атмосфер).

Газовая сварка позволяет соединять черные, цветные металлы и их сплавы. Часто применяется для ремонта различных машин и механизмов, заварки дефектов в отливках, в том числе из чугуна и бронзы, монтажа и ремонта сантехнических и теплотехнических коммуникаций. Данный вид сварки используется и для наплавки специальных легированных сталей (жаропрочных, износостойких и др.) на конструкционную сталь; применяется для восстановления изношенных поверхностей. В заготовительном производстве применяется для резки металла. Иногда применяется для пайки изделий.

Газовая ацетиленокислородная резка металлов основана на способности некоторых металлов гореть в струе кислорода при температуре, значительно ниже температуры плавления, с выделением тепла. Этот способ применяют для разрезки стальных изделий, в том числе проката в заготовительном мелкосерийном производстве.

Чугун, медь и ее сплавы, алюминий и алюминиевые сплавы могут разрезаться этим способом при подаче соответствующего порошкообразного флюса в зону горения.

Контактная электрическая сварка характеризуется наличием давления сжатия на свариваемые детали, через которые пропускается электрический ток.

Стыковая контактная сварка применяется для соединения встык рельсов, труб газопроводов, стержней арматуры, валов, заготовок рукояток и др. Способ часто применяют при производстве сверл для экономии инструментального материала.

Точечная электроконтактная сварка применяется для соединения листового материала не по всей поверхности касания, а только в отдельных точках. В зависимости от режима сварки соединяются листы из различных материалов: углеродистых и низколегированных сталей, нержавеющей стали, жаропрочной стали, алюминия, магния, меди, титана и их сплавов толщиной до 6...10 мм. Данный способ сварки применяется для замены клепаных и резьбовых соединений в автомобилестроении, авиастроении.

Шовная электроконтактная сварка позволяет соединять листовый материал по линии касания роликов сварочной машины. При этом достигается хорошая герметичность соединения. Применяется в массовом производстве для изготовления топливных баков и других емкостей из различных материалов, в том числе и с покрытием (оцинкованные, луженые и т.д.). В трубном производстве применяется роликово-стыковая сварка труб с продольным сварным швом.

Конденсаторная сварка используется для соединения ток разряда конденсатора. Установка имеет малую мощность потребления. Применяется для сварки проволоки.

Специальные виды сварки позволяют соединять детали изделий в особых условиях.

Плазменная сварка отличается очень высокой температурой плазменной дуги (до 20 тысяч градусов) за счет применения специальных плазменных горелок. Плазменная дуга позволяет сваривать, резать и наплавлять все металлы и их сплавы, а также полупроводниковые материалы и диэлектрики. Разработаны установки для сварки изделий толщиной как 0,05...1 мм, так и толщиной до 6 мм. Особенно эффективна микроплазменная сварка тонколистовых заготовок из нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов, тугоплавких металлов и их сплавов (титан, вольфрам, ниобий, молибден, цирконий и др.). С помощью плазменной струи производят резку любых материалов, наплавку изношенных деталей, наплавку меди на сталь, жаростойких и коррозионно-стойких покрытий. Плазменной струей можно испарять материалы. Конденсацией паров материалов, выходящей из плазменной струи, по-

лучают монокристаллы полупроводниковых материалов и чистых металлов, таких как вольфрам, молибден, ниобий и др.

Плазменной дугой можно разрезать алюминиевые листы толщиной до 200 мм, которые не поддаются разрезке кислородной струей из-за образования тугоплавких окислов с температурой плавления более 2000°C.

Плазменную струю можно использовать для получения тонких металлических нитей очень высокой прочности.

Электронно-лучевая сварка позволяет сваривать (в вакууме) за один проход заготовки толщиной до 200 мм. Возможна сварка через узкие окна в недоступных местах. Применяется для сварки всех материалов, в том числе разнородных, например, металлов с керамикой, стеклом. Особенно высокое качество обеспечивается при сварке тугоплавких и химически активных металлов: вольфрама, ниобия, тантала, молибдена, титана, циркония, марганца, магния и др.; минимальная толщина свариваемых заготовок составляет 0,02 мм. С помощью электронного луча, кроме сварки, можно успешно прошивать отверстия толщиной тоньше человеческого волоса, прорезать очень узкие пазы, щели, разрезать на части заготовки, особенно из драгоценных материалов, а также неметаллов (кварц, керамика, алмазы и др.). Достоинство данного способа – малая зона термического влияния, мелкокристаллический металл шва и возможность получения прецизионного соединения.

Электронно-лучевая сварка применяется в авиастроении, в атомной, электротехнической, электронной промышленности для получения ответственных и специальных видов соединений с самыми разнообразными материалами: металл – металл, металл – графит, металл – стекло.

Сварка и пайка сфокусированным световым лучом производится в вакууме. В качестве источника энергии используются мощные (до 10 кВт) дуговые ксеноновые лампы высокого давления. За счет фокусирования светового луча достигается высокая плотность энергии. Достоинство способа – независимость сварки от электрических и магнитных свойств заготовок и отсутствие прожогов. Способ применяется при сварке очень тонких материалов толщиной 0,01...1 мм и миниатюрных заготовок.

Сварка трением применяется в основном для деталей типа тел вращения. Торцы заготовок сводятся до соприкосновения, а затем или одному стержню или обоим придается вращательное движение и прикладывается сила вдоль осей стержней. За счет трения выделяется тепло, и соприкасающиеся заготовки разогреваются до пластического состояния. После этого вращение мгновенно прекращается, а усилие сдавливания увеличивается; за счет этого возникает сварное соединение.

Данный способ сварки широко применяется в инструментальной промышленности для изготовления сверл, фрез, метчиков и др. Часто производится сварка встык стержней и труб, сварка стержня или трубы с листом.

Холодная сварка осуществляется без нагрева под действием сжимающих усилий выше предела текучести. При этом металл пластически деформируется, окисные пленки и другие загрязнения разрушаются и выдавливаются из зоны сварки. Сваривание происходит за счет диффузионного обмена электронов. Применяется только для пластичных материалов. Холодной сваркой можно выполнять точечные, стыковые и шовные соединения. Сваривают металлы: алюминий, медь, свинец, никель, золото, серебро и их сплавы, однородные и разнородные металлы в приборостроении, при изготовлении бытовых приборов, в электромонтажном производстве.

Диффузионная сварка в вакууме основана на взаимной диффузии атомов в поверхностных слоях контактирующих материалов, находящихся в твердом состоянии при температуре рекристаллизации. Диффузионная сварка в вакууме применяется в микроэлектронике, в приборостроении. Этим способом можно сваривать трудносвариваемые материалы: вольфрам, молибден, чугун, твердые сплавы, а также стекло с металлами, можно получать многослойные изделия.

При ультразвуковой сварке контактирующие поверхности за счет наложения ультразвуковых колебаний и сжимающих сил свариваются при более низкой температуре. Низкие температуры позволяют избежать структурных изменений в зоне термического влияния и образования сварных деформаций. Сваривают внахлестку листы толщиной до 1 мм или тонкие листы, или фольгу к листам любой толщины. Можно сваривать однородные и разнородные металлы.

Сварка лазерным лучом получила наибольшее распространение в последние годы. Наибольшее применение этот способ получил в микро- и радиоэлектронике при сварке выводов элементов микросхем (толщиной в несколько десятков микрон). Лазерным лучом можно сваривать любые композиции металлов, резать любые материалы (дерево, ткань, картон), металлы и металлокерамику. Широкое распространение получила прошивка отверстий в металлах, твердых сплавах, алмазах, рубинах. Применение технологического оборудования с ЧПУ позволяет выполнять сварку и резку любой кривизны. Достоинство данного способа сварки – нагревается только зона сварки, а не сама заготовка.

Сварка взрывом использует кумулятивный эффект. Энергия направленного взрыва перемещает одну из деталей на другую со скоростью до 1000 м/с. При соударении пластин кумулятивной струей выду-

ваются окисные пленки и другие загрязнения. В зоне соударения металл течет подобно жидкости и образует сварное соединение.

Этот способ применяется для получения биметаллических пластин высокой прочности, металлических слоистых композиционных материалов, покрытий лопастей турбин гидроэлектростанций кавитационно-стойкими сталями [31]. Часто сварка взрывом применяется в сочетании со штамповкой. Для данного типа сварки необходимы специальные

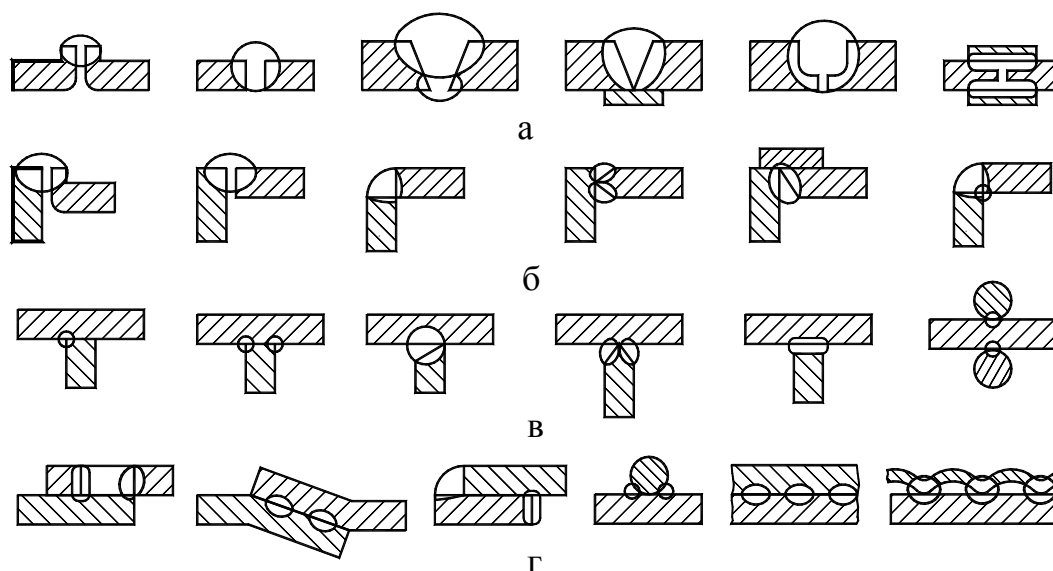


Рис. 1.15. Виды сварных соединений помещения.

Виды сварных швов

По виду сварного соединения различают соединения: стыковые (рис. 1.15, а), угловые (рис. 1.15, б), тавровые (рис. 1.15, в), нахлесточные (рис. 1.15, г).

Деформации и напряжения при сварке и меры их предупреждения

Основными причинами образования деформаций и напряжений при сварке являются неравномерный нагрев сварной конструкции и усадка наплавленного металла.

Для уменьшения деформаций и напряжений при сварке необходимо руководствоваться следующими правилами:

- применять марки электродов, повышающих пластичность металла шва;
- выполнять швы с меньшим количеством наплавленного металла;

- ограничивать применение накладок и косынок;
- применять по возможности стыковые швы, так как они обеспечивают наименьшую концентрацию напряжений;
- использовать методы секционного изготовления конструкций;
- правильно выбирать тепловой режим при сварке; при сварке закаливаемых сталей применять предварительный, сопутствующий и послесварочный подогрев;
- применять методы обратных деформаций и предварительного смещения;
- с целью уменьшения коробления листов, швы длиной более 600 мм выполнять в обратно-ступенчатом порядке;
- соблюдать правильную последовательность наложения швов;
- предусмотреть свободную усадку шва;
- сваривать длинные швы от середины к его концам;
- при сварке листовых заготовок для предотвращения деформаций применять метод предварительных прихватов или ребер жесткости;
- использовать метод жесткого закрепления заготовок перед сваркой;
- для снятия внутренних напряжений применять общий отжиг сварного изделия, проковку шва и околошовной зоны; для устранения деформаций можно применять также механическую правку в холодном или горячем состоянии.

Контроль качества сварных соединений осуществляется наружным осмотром, проверкой размеров швов, механическими испытаниями прочности сварных соединений, испытаниями плотности шва, металлографическими исследованиями и контролем внутренних дефектов.

Запись сварочной операции (приваривание трубки к обойме) в **технологической документации** производится следующим образом:

7 1 080

9041 Сварочная

1. Приварить трубку поз. 1 к обойме поз. 3 швом № 6 по замкнутому контуру с катетом 1 мм. (См. лист 1 гл. вида сварочного чертежа)

Или (приваривание заглушки в сквозном отверстии корпуса):

7 1 045

9041 Сварочная

А. Установить заглушку в гнездо

1. Приварить заглушку согласно чертежу в один слой, заподлицо с поверхностью корпуса, перекрывая начало шва. Допускаются вогнутости шва глубиной до 0,4 мм.

После проведения сварочной операции необходимо произвести зачистку шва применением слесарно-сварочной операции:

7 1 050

6310–0107 Слесарно–сварочная

А. Установить корпус на верстак

1. Зачистить сварочные швы от шлаков и брызг металла с плавным переходом к основному металлу, а также места потемневшие от сварки, не нарушая размеров и параметров корпуса, выполненных по чертежу до сварки

Щетка металлическая из углеродистой проволоки; шабер; надфиль плоский 80 № 2; шкурка шлиф. 2С 1000х50 П6 25А 20-НМА ГОСТ 6456-82; Плита поверочная, кл. 1; Щуп, набор № 1.

При необходимости проводят операцию отжига для снятия остаточных напряжений. Далее следуют операции: промывочная и контрольная.

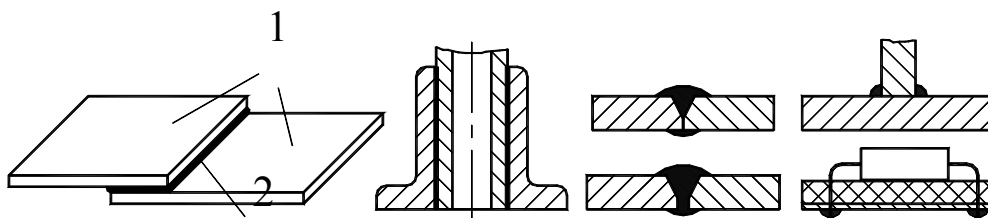


Рис. 1.16. Схема пайки: 1 – заготовка, 2 - припой

Пайка

Пайкой называется процесс получения неразъемного соединения заготовок с нагревом ниже температуры их автономного расплавления путем смачивания, растекания и заполнения зазора между ними расплавленным припоем и сцепления их при кристаллизации шва (рис. 1.16).

Припой – материал для пайки и лужения с температурой плавления ниже температуры плавления паяемых материалов. Припой должен обладать хорошей смачивающей способностью, обеспечивать достаточно

высокие сцепляемость, прочность, пластичность и герметичность паяного соединения, иметь коэффициент линейного расширения, близкий к коэффициенту линейного расширения паяемого материала, быть дешевым и недефицитным. Припои представляют собой сплавы цветных металлов сложного состава. Все припои по температуре плавления подразделяются на особолегкоплавкие (температура плавления ≤ 145 °С), легкоплавкие (температура плавления $145 \leq 450$ °С), среднеплавкие (температура плавления $450 \leq 1100$ °С) и тугоплавкие (температура плавления более 1100 °С). Припой выбирают в зависимости от паяемого материала. Припои изготавливают в виде прутков, проволок, листов, полос, спиралей, дисков, колец, зерен и т.д., укладываемых в место соединения [58]. Пайка производится обычно в среде флюса.

Флюс – вещество или смесь различных веществ (в жидком, пастообразном или твердом состоянии), способствующих очистке поверхности паяемого металла, снижающих поверхностное натяжение, улучшающих растекание и смачиваемость жидкого припоя. Температура плавления флюса всегда ниже температуры плавления припоя. При ультразвуковой пайке флюс не применяется.

Прочность сцепления припоя с соединяемыми поверхностями заготовок зависит от физико-химических и диффузионных процессов, протекающих между припоем и основным металлом.

По прочности паяные соединения уступают сварным. Паять можно стали всех марок, твердые сплавы, цветные металлы, чугуны.

К преимуществам пайки относятся отсутствие плавления и незначительный нагрев основного материала, что позволяет сохранить неизменным его состав, структуру и механические свойства.

1.9. Порошковая металлургия

Методами порошковой металлургии получают разнообразные материалы и изделия (рис. 1.17). Преимущества заготовок, полученных методом порошковой металлургии:

- резкое сокращение расхода материалов и энергии при производстве изделий; коэффициент использования материала 0,95...0,97, против 0,4...0,6 при механообработке;
- композиционная гибкость при разработке различных материалов;
- постоянство состава и свойств изделий;
- однородность микроструктуры;
- исходные материалы для порошковых изделий могут быть получены как из руд, так и из любых отходов металлургической и

машиностроительной промышленности (стружки, окарины, облоя);

- создание материалов с особыми свойствами (пористых материалов, твердых сплавов, материалов защитных покрытий, композиционных материалов и др.), которые невозможно получить традиционными методами.

Исходными материалами порошковой металлургии являются по-



Рис. 1.17. Классификация порошковых материалов

рошки чистых металлов, сплавов и порошки неметаллических материалов. Свойства металлических порошков: химический состав, размер и форма частиц, состояние их поверхности и другие зависят от исходного

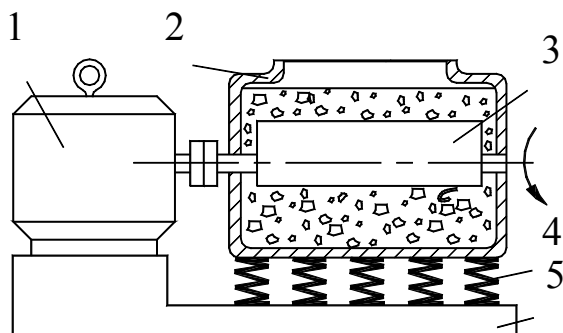


Рис. 1.18. Схема вибромельницы:
1 – электродвигатель; 2 – корпус;
3 – вибратор; 4 – пружины; 5 – основание

сырья и метода их получения. Порошки из одного и того же материала, полученные различными методами, могут обладать резко отличающимися свойствами.

Существующие методы получения порошков (в зависимости от основных принципов производства) могут быть разделены на механические и физико-химические. К механическим ме-

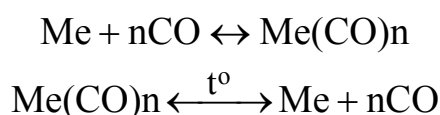
тодам относятся измельчение металлов резанием, с дальнейшим размоллом в шаровых мельницах, измельчение в вихревых мельницах, в вибромельницах (рис.1.18), дробление в инерционных дробилках, а также распыление струи жидкого металла паром, водой, сжатым газом.

Под физико-химическими методами получения порошков понимают такие технологические процессы, при которых вследствие глубоких физико-химических превращений металл или сплав переходит в порошкообразное состояние. При этом полученный порошок может отличаться по химическому составу от исходных продуктов. К физико-химическим методам относятся: восстановление оксидов твердыми восстановителями и газами, электролиз расплавленных сред или водных растворов, диссоциация карбониллов, метод испарения и конденсации.

Получение металлических порошков восстановлением из оксидов является наиболее распространенным, высокопроизводительным и экономичным методом.

В качестве исходных материалов используются недорогие рудные концентраты, оксиды, отходы металлургического производства. Частицы порошков получаются губчатыми в виде многогранников с сильно развитой поверхностью, которые благодаря большой пористости хорошо прессуются. Получаются порошки Cu, Ni, Co, Fe, W, Mo, Cr, Mn, V, Al.

Электролитическим осаждением металлов из водных растворов солей получают порошки олова, серебра, меди, железа. Из расплавлен-



ных сред получают редкие металлы: тантал, ниобий, уран. Достоинством метода является возможность получения порошков высокой чистоты. Недостаток – высокая стоимость метода и большие затраты энергии. Размеры частиц 10...100 мкм.

В карбонильном методе реализуются реакции:

Во время реакций можно легко отделить частицы посторонних примесей и получить очень чистый металл в виде частиц сфероидальной формы размером 1...10 мкм. Наиболее часто этим способом получают порошки Fe, Co, Ni, реже Cr, Mo, W и др.

При получении, хранении, транспортировке порошков необходимо учитывать:

- некоторые порошки могут самовозгораться, например, порошки железа, кобальта и др.;
- почти все порошковые материалы токсичны, например, порошок никеля вызывает резкие болезненные изменения крови.

Порошки обозначаются по ГОСТ 9849-86. Например, ПЖ2М3 – порошок железный, 2 – чистота порошка, М – мелкий, 3 – подгруппа плотности.

Технологический процесс изготовления деталей из порошков:

1. Подготовка порошков.
2. Смешивание, введение добавок
3. Прессование. (Холодное прессование не обеспечивает механической прочности изделий, и они могут разрушаться даже при незначительных усилиях).
4. Спекание.
(Спекание порошковых материалов – это тепловая обработка свободно насыпанного порошка или прессованных заготовок при 0,7...0,9 абсолютной температуры плавления металла. Это важнейшая операция порошковой металлургии, при которой в результате диффузионных, рекристаллизационных и других процессов при термической обработке из уплотненного конгломерата частиц порошка создается единое тело, обладающее определенной структурой и свойствами).
5. Дополнительная обработка (механическая, термическая, химико-термическая, пропитка, гальваническая, нанесение покрытий и др.).

В зависимости от плотности и назначения порошковые сплавы подразделяются на две группы:

- плотные – сплавы с минимальной пористостью, изготовленные на основе порошков железа, меди, никеля, бронзы, латуни, титана, специальных сплавов;
- пористые, в которых после окончательной обработки сохраняется 10...15% пор по объему, что обеспечивает приобретение специальных свойств и позволяет применять их для изготовления антифрикционных изделий, фильтров и др.

Для обозначения конструкционных порошковых сталей в России принята следующая маркировка. Первая буква в обозначении характеризует класс материала: С – сталь; вторая буква – П – изделие получено методом порошковой металлургии, следующее потом число показывает содержание углерода в процентах; все последующие буквы обозначают легирующие элементы, цифры – содержание легирующих элементов в процентах. Материал СП45Х2Н3Д2 получен методом порошковой металлургии, содержит 0,45% углерода, 2% хрома, 3% никеля, 2% меди.

Достоинства порошковых сталей – малый процент отходов при изготовлении деталей, возможность получения деталей с заданными свойствами. Недостатки: малая прочность на изгиб, быстрее подверга-

ются коррозии, поэтому должны иметь специальное покрытие. Порошки токсичны.

Дополнительная обработка резанием производится в том случае, когда полученная точность исходного изделия бывает недостаточна. При обработке пористых заготовок нельзя применять охлаждающие жидкости, так как впитавшаяся жидкость вызывает коррозию. При обработке резанием применяют твердосплавный или алмазный инструмент.

Применение методов порошковой металлургии: производство антифрикционных материалов (железо-графитовых, бронзо-графитовых и т.п.) для подшипников скольжения, изготовление фильтров из пористых материалов, производство перетачиваемых и неперетачиваемых пластин для оснащения режущего инструмента, изготовление алмазосодержащих инструментов.

Нанопорошки

Нанопорошковая индустрия начала развиваться совсем недавно, однако изделия, создаваемые ею, имеют существенно более высокие параметры, чем изделия, полученные обычными методами порошковой металлургии.

Нанопорошки – это порошки, размеры частиц которых составляют $10^{-9} \dots 10^{-7}$ м (0,001...0,1 мкм). Превращение в нанодисперсную систему исходного органического или неорганического материала рождает, по сути, новый вид вещества с совершенно уникальными свойствами. Распыленное до такого состояния твердое тело, уже и не твердое тело и не жидкость, хотя ведет себя в отдельных моментах как жидкость.

Спектр разрабатываемых практических применений нанотехнологии уже сейчас очень широк:

- создаются материалы с заранее заданными свойствами;
- интегральные схемы, созданные с помощью нанотехнологии, будут на 3...6 порядков меньше и быстрее существующих сегодня;
- нанокпозиционные керамики и сплавы покажут рекордные свойства по отношению к существующим;
- твердость металлов с наноструктурой ожидается в 7 раз выше по отношению к изготовленным традиционными способами;
- создаются адсорбенты нового типа для очистки воды и воздуха;
- создаются лекарства широкого применения и т.д.

По оценкам международного научного сообщества, волшебный «карлик», так называют нанопорошки, в состоянии поднять мировые технологии на качественно новый уровень развития, произвести такую же революцию, какую в свое время произвело открытие микроэлектро-

ники. По результатам конкурса 2000 года, нанопорошки, получаемые в Инновационно-технологическом центре г. Томска, вошли в число 100 лучших высокотехнологичных товаров, представленных на рынке США в 2000 году.

1.10. Склеивание

Склеивание часто применяют в машиностроении. Склеивание применяют как самостоятельный процесс, так и альтернативный сварке. Вместо сварки заготовки склеивают том случае, когда должны быть исключены перераспределение напряжений в заготовках или нагрев заготовок. Склеивание применяют даже вместо лазерной сварки и электронно-лучевой, дающих минимальное изменение поверхностного слоя свариваемых заготовок. Склеивают металлы (рис. 1.19 – 1.20), пластмассы,

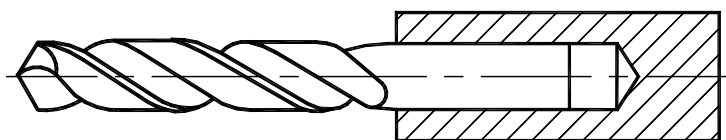


Рис. 1.19. Склеивание сверла диаметром 1 мм с оправкой

керамику, ферриты, стекло, резину в различных сочетаниях. В качестве клеящего вещества используют смесь смол марок СЭДМ-2, Э-181, Л-20 и др. в определенном сочетании. В зависимости от величины зазора между склеиваемыми заготовками, в полученную смесь могут добавляться наполнители: молотый кварцевый песок, алюминиевая пудра, карбонильное железо, нитрид бора, двуокись титана и др. При очень малых зазорах (до 0,015 мм) смесь применяют в разбавленном состоянии и без наполнителя. Клей с наполнителем используется в диапазоне зазоров 0,07...0,15 мм. Клей с наполнителем может применяться и при больших величинах зазора (до 0,6 мм), но при отсутствии требований по герметичности. Свежеприготовленный клей должен быть использован в течение 2-х часов.

Склеиваемые поверхности металлических изделий не должны иметь следов коррозии, окалины, окисных пленок покрытий, лакокрасочных покрытий. Не подлежат склеиванию и поверхности, имеющие гальванические покрытия с промасливанием и пропиткой гидрофобизирующей жидкостью. На склеиваемых поверхностях не допускаются зазубрины, заусенцы, острые кромки. Параметр шероховатости склеиваемых металлических поверхностей должен быть в пределах $Ra = 3,2 \dots 0,050$ мкм.

Склеивание может выполняться как в специально оборудованных помещениях, так и на слесарно-сборочных участках. В первом случае необходимы три отдельные операции: перед операцией склеивания не-

обходима промывочная операция, затем выполняется операция склеивания и заканчивается операцией сушки, в которой происходит отверде-



Рис. 1.20. Чертеж опоры (спецификация не показана)

вание клея. Во втором случае все три операции выполняются как переходы одной операции.

В зависимости от необходимых требований к клеевому соединению отверждение клея может производиться как на воздухе, так и в печи при температуре до 100...150 градусов (для металлических изделий).

При этом время сушки уменьшается с 24...48 часов до 3...6 часов.

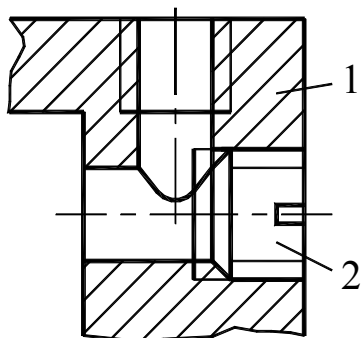


Рис. 1.21. Склеивание резьбовой заглушки с корпусом: 1 – корпус, 2 - заглушка

Часто операцию склеивания используют как технологический прием (рис. 1.21), если необходимо получить глухое отверстие в труднодоступном месте изделия: сначала получают сквозные отверстия, а потом нарезают резьбу и ставят резьбовую заглушку на клею (или используют сварку) в одном из отверстий.

Запись операции склеивания (склеивание резьбовой заглушки с корпусом по рис. 1.20), как отдельной операцией, **в технологической документации** производится следующим образом:

39 2 110

8846–0102 Склеивание

1. Склеить детали поз. 1 и поз. 2 согласно чертежу

или (второй случай):

44 3 090

8864–0031 Слесарно–сборочная

1. Промыть заглушку и заглушаемое отверстие смесью хладона с бензином в соотношении 2:1. Просушить в течение 15 мин
2. Покрыть заглушку клеем
3. Заглушить отверстие заглушкой заподлицо с плоскостью основания. Щели не допускаются
4. Сушить в течение 48 часов на воздухе при температуре $25 \pm 10^\circ\text{C}$

После операции склеивания допускается проводить операции обработки резанием или отделочные операции. При этом силы резания должны быть небольшими, чтобы не повредить клеевое соединение.

II. Операции механообрабатывающего производства

2.1. Характеристика мелкосерийного производства

В зависимости от широты номенклатуры, регулярности, стабильности и объема выпуска изделий современное производство подразделяется на единичное, мелкосерийное, серийное, крупносерийное и массовое. Определение типа производства от объема выпуска изделий представлено в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Ориентировочные данные для определения типа производства

Производство	Число обрабатываемых изделий одного типоразмера в год		
	Тяжелых (массой более 100 кг)	Средних (массой 10...100 кг)	Легких (массой до 10 кг)
Единичное	до 5	до 10	До 100
Мелкосерийное	5...100	10...200	100...500
Серийное	100...300	200...500	500...5000
Крупносерийное	300...1000	500...5000	5000...50000
Массовое	> 1000	> 5000	> 50000

Мелкосерийное производство характеризуется малым объемом выпуска одинаковых изделий, повторное изготовление которых выполняется нерегулярно.

На рабочих местах в мелкосерийном производстве выполняют разнообразные операции на универсальном технологическом оборудовании (в том числе и с ЧПУ) с использованием универсальной, унифицированной и стандартной технологической оснастки (универсально-сборные станочные приспособления (УСП), тиски и патроны для крепления деталей, угольники, прихваты, и т. п.; стандартные резцы, сверла, фрезы, плашки, метчики, шлифовальные круги и т. п.; универсальные измерительные средства: штангенинструмент, микрометры, нутромеры и т.п.).

Исходные заготовки – простейшие (литье в землю, прокат, поковки), с малой точностью и большими припусками. Требуемая точность изготовления детали достигается методом пробных проходов. Взаимозаменяемость деталей и узлов во многих случаях отсутствует, широко применяется пригонка по месту. Специальную оснастку применяют в

редких случаях, когда без нее изготовление деталей невозможно. Универсальность выполнения работ требует высокой квалификации рабочих. Технологическая документация сокращенная и упрощенная, технологическая подготовка минимальная.

Важнейшей особенностью мелкосерийного производства является большая номенклатура изготавливаемых изделий. Для производства изделий используется, в основном, неавтоматизированное оборудование – металлорежущие станки. В последние годы все чаще в мелкосерийном производстве применяются станки с ЧПУ, которые позволяют изготавливать более сложные детали, например, с криволинейной образующей.

2.2. Технологическая подготовка производства

За последние годы в промышленности стало широко применяться различное высокопроизводительное, но дорогостоящее оборудование: станки с ЧПУ, ЭВМ и др., значительно повысился удельный вес основных фондов. Эти обстоятельства обязывают сократить сроки их окупаемости и обеспечить их полную загрузку. Большую роль в решении этой задачи играет научно организованная техническая подготовка производства, включающая конструкторскую, технологическую и организационную подготовку.

Технологическая подготовка производства (ТПП) предназначена для обеспечения технологической готовности предприятия к производству изделий заданного качества в соответствии с заданными технико-экономическими показателями, устанавливающими высокий технический уровень производства, минимальные временные, трудовые и материальные затраты. Это значит, что ТПП должна обеспечить мобильность изменения производства при изменении программы выпуска и освоении новых видов изделий, высокую производительность труда. Достигается это совершенствованием действующего или организацией нового производства.

Технологическая подготовка производства включает обеспечение технологичности конструкции изделия; проектирование технологических процессов и средств технологического оснащения; расчет технически обоснованных материальных и трудовых нормативов; необходимого числа оборудования и производственных площадей; внедрение технологических процессов и управление ими в производстве.

Организация и управление технологической подготовкой производства регламентируется стандартами ЕСТПП. Стандарты ГОСТ 14.001–73, ГОСТ 14.002–73 предусматривают применение типовых технологических процессов, переналаживаемой оснастки, агрегатно-модульного пе-

реналаживаемого оборудования, средств автоматизации инженерно-технических работ. ЕСТПП взаимосвязана с системами разработки и постановки продукции на производство, предусматривает широкую унификацию машин и приборов, обеспечение единства измерений, классификацию и кодирование технико-экономической информации, документации (ЕСКД, ЕСТД) [22].

Эффективность машиностроительного производства во многом определяется эффективностью технологической подготовки производства.

В настоящее время наметились следующие тенденции интенсификации ТПП:

- внедрение новых высокотехнологичных методов изготовления продукции;
- применение наукоемких CAD/CAM систем как для технической, так и для технологической подготовки производства;
- внедрение методов технологической унификации.

В зависимости от степени автоматизации мелкосерийного производства и вида выпускаемой продукции выбирается оптимальный способ интенсификации технологической подготовки производства.

2.3. Механообработка

Механообработка является одним из самых распространенных способов изготовления машиностроительной продукции.

Обработка металлов резанием – это процесс срезания режущим инструментом с поверхности заготовки слоя металла в виде стружки для получения необходимой геометрической формы, точности размеров, взаимного расположения поверхностей и шероховатости поверхностей детали. Чтобы срезать с заготовки слой металла, необходимо режущему инструменту и заготовке сообщить относительные движения. Инструмент и заготовку устанавливают и закрепляют в рабочих органах металлорежущих станков, обеспечивающих эти относительные движения: в шпинделе, на столе, в револьверной головке. Движения рабочих органов станков подразделяются на движения резания, установочные и вспомогательные. Движения, которые обеспечивают срезание с заготовки слоя металла или вызывают изменение состояния обработанной поверхности заготовки, называют движениями резания. К ним относятся главное движение и движение подачи. За главное принимают движение, определяющее скорость деформирования и отделения стружки, за движение подачи – движение, обеспечивающее врезание режущей кромки инструмента в материал заготовки. Эти движения могут быть непре-

рывными или прерывистыми, а по своему характеру вращательными, поступательными, возвратно-поступательными. Скорость главного движения обозначают V , величину подачи – S . Движения, обеспечивающие взаимное положение инструмента и заготовки для срезания с нее определенного слоя материала, называют установочными. К вспомогательным движениям относят транспортирование заготовки, закрепление заготовок и инструмента, быстрые перемещения рабочих органов станка и др.

Кинематика резания [42]

С геометрических позиций задача обработки резанием сводится к получению с заданной точностью поверхностей того или иного вида. Кроме того, необходимо сделать выбор режущего инструмента надлежащей конструкции и обеспечить правильное его расположение относительно заготовки, а затем создать относительно движение лезвий инструмента и заготовки по определенным траекториям. При этом в зависи-

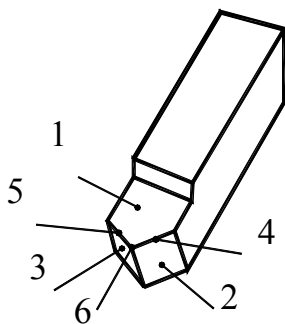


Рис. 2.1. Проходной токарный резец

мости от вида режущего инструмента и формы указанных траекторий оказываются заданными форма и размеры поперечного сечения слоя материала, которые могут быть как постоянными, так и переменными во времени. В свою очередь, параметры этого сечения определяют величину и характер силовой и тепловой нагрузки на лезвие, а через них и точность воспроизведения заданной поверхности. С указанными кинематическими факторами связаны и геометрические параметры (рабочие углы) лезвия, которые зависят не только от способа заточки лезвия, но также от взаимного расположения инструмента и заготовки и соотношения скоростей их движений. Основные закономерности процесса резания удобно рассматривать на процессе продольного точения. Роль инструмента при продольном точении выполняет проходной токарный резец (рис. 2.1). Его режущий клин (лезвие) образован тремя рабочими гранями 1, 2, 3. Грань 1, по которой скользит образующая стружка, называется **передней гранью** (поверхностью). Две другие, контактирующие с вновь образованной поверхностью заготовки, называются **задними гранями** (поверхностями): **главной 2** и **вспомогательной 3**. Линии пересечения задних поверхностей с передней называются **главной 4** и **вспомогательной 5 режущими кромками**. При продольном точении (рис.2.2) относительно движение инструмента и заготовки складывается из двух движений: вращения заготовки вокруг

ее собственной оси с угловой скоростью n оборотов в единицу времени и поступательного движения инструмента в направлении, параллельном оси заготовки. Первое из этих движений называется **главным движением резания**, второе – **движением подачи**.

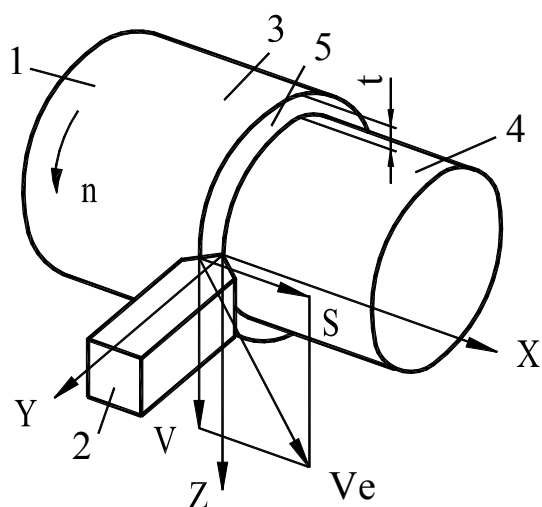


Рис. 2.2. Кинематическая схема продольного точения [42]: 1 – заготовка, 2 – резец, 3 – обрабатываемая поверхность, 4 – обработанная поверхность, 5 – поверхность резания; n – угловая скорость заготовки; V – скорость резания, S – скорость движения подачи, V_e – результирующая скорость, t – глубина резания

инструмента и заготовки является векторной суммой скоростей V и S :

$$V_e = V + S.$$

Плоскость, в которой лежат векторы V , S и V_e , параллельна координатной плоскости XZ и называется рабочей P_s плоскостью.

Для облегчения расчета, заточки и измерения геометрических параметров лезвия инструмента стандартом установлены специальные системы прямоугольных координат и координатных плоскостей. Предусмотрено три таких системы координат: статическая (ССК), кинематическая (КСК) и инструментальная (ИСК).

Статическая система координат ориентирована по вектору скорости резания V , параллельно которому направлена ось Z . При продольном точении две другие оси направлены соответственно: параллельно (ось X) и перпендикулярно (ось Y) оси заготовки (рис. 2.2).

Кинематическая система координат ориентирована по вектору результирующей скорости V_e (ось Z). Направление двух других осей при этом выбирают в зависимости от поставленной задачи. Координатная плоскость XY перпендикулярна вектору скорости V (ССК) или V_e

В результате обработки с заготовки снимается припуск в виде кольца толщиной t . Исходную заготовку называют **обрабатываемой**, а получившуюся поверхность – **обработанной**. Параметр t измеряется по нормальям к указанным поверхностям и называется глубиной резания. Винтовая поверхность, образуемая режущей кромкой инструмента при его движении относительно заготовки, называется **поверхностью резания**.

Окружная скорость главного движения резания называется **скоростью резания**. Результирующая скорость резания V_e относительного движения инструмента и заготовки является векторной суммой скоростей V и S :

Плоскость, в которой лежат векторы V , S и V_e , параллельна координатной плоскости XZ и называется рабочей P_s плоскостью.

Для облегчения расчета, заточки и измерения геометрических параметров лезвия инструмента стандартом установлены специальные системы прямоугольных координат и координатных плоскостей. Предусмотрено три таких системы координат: статическая (ССК), кинематическая (КСК) и инструментальная (ИСК).

Статическая система координат ориентирована по вектору скорости резания V , параллельно которому направлена ось Z . При продольном точении две другие оси направлены соответственно: параллельно (ось X) и перпендикулярно (ось Y) оси заготовки (рис. 2.2).

Кинематическая система координат ориентирована по вектору результирующей скорости V_e (ось Z). Направление двух других осей при этом выбирают в зависимости от поставленной задачи. Координатная плоскость XY перпендикулярна вектору скорости V (ССК) или V_e

(КСК) называется, соответственно **основной статической** или **основной кинематической** плоскостью (P_v).

Если статическая и кинематическая системы координат связаны с параметрами относительного движения инструмента и заготовки, то **инструментальная система координат** (ИСК) связана непосредственно с инструментом, а именно, с поверхностями, по которым инструмент базируют при его установке или заточке. Для проходного резца (рис. 2.1) такой поверхностью является плоскость его основания, которая и исполняет роль **основной инструментальной** плоскости. Ось Z направлена ей перпендикулярно. В рассматриваемом случае продольного течения статическая система координат совпадает с инструментальной (рис. 2.2)

К геометрическим параметрам лезвия инструмента относятся углы, определяющие относительное расположение его рабочих поверхностей, радиусы криволинейных режущих кромок, размеры фасок и ленточек и т.п. Значения любого из названных параметров зависят от того, в каком сечении его измеряют. Поэтому для обеспечения единого подхода к их определению взаимное расположение этих сечений (секущих плоскостей) стандартизовано (рис. 2.3).

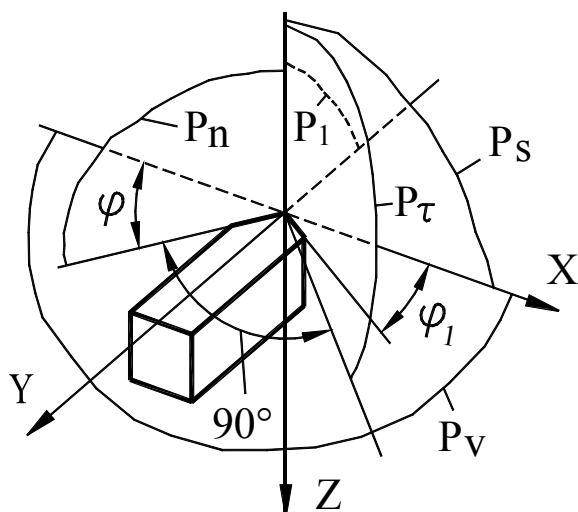


Рис. 2.3. Расположение основной и секущей плоскостей, используемых для определения геометрических параметров лезвия инструмента [42]: P_v – основная плоскость; P_s – рабочая плоскость; P_t – главная секущая плоскость; P_1 – вспомогательная секущая плоскость

Помимо уже упоминавшейся рабочей плоскости P_s , еще есть три секущих (перпендикулярных к основной P_v) плоскости:

- плоскость резания P_n , содержащая главную режущую кромку;
- главная секущая плоскость P_t , перпендикулярная плоскости резания;
- вспомогательная секущая плоскость P_1 , перпендикулярная проекции вспомогательной режущей кромки на основную плоскость.

Углы инструмента оказывают существенное влияние на процесс резания и качество обработки.

Главный передний угол γ (рис. 2.4) измеряют в главной секущей плоскости между основной плоскостью и передней поверхностью. Передний угол оказывает большое влияние на процесс резания. С увеличением переднего угла уменьшается деформация срезаемого слоя, так как инструмент легче врезается в материал, при этом снижается сила резания и расходуемая мощность. Одновременно улучшаются условия схода стружки, и качество обработанной поверхности улучшается. Чрезмерное увеличение угла γ приводит к снижению прочности главной режущей кромки, увеличению износа вследствие выкрашивания, ухудшению отвода тепла из зоны резания. При обработке деталей из хрупких и твердых материалов для повышения

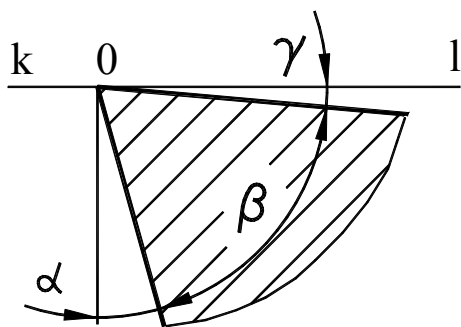


Рис. 2.4. Геометрические параметры лезвия в главной секущей плоскости: γ – передний угол; α – задний угол; β – угол заострения; kl – след основной плоскости

стойкости резца и улучшения отвода тепла следует назначать меньшие значения угла γ , в отдельных случаях даже отрицательные. При обработке деталей из мягких и вязких материалов передний угол увеличивают.

Главный задний угол α измеряют (рис. 2.4) в главной секущей плоскости между задней поверхностью инструмента и плоскостью резания. Наличие угла α уменьшает трение между главной задней поверхностью инструмента и поверхностью резания заготовки, что уменьшает износ по главной задней поверхности.

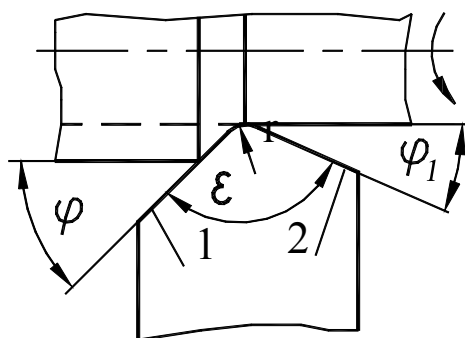


Рис. 2.5. Геометрические параметры лезвия резца в основной плоскости: 1 – главная режущая кромка; 2 – вспомогательная режущая кромка; φ – главный угол в плане; φ_1 – вспомогательный угол в плане; ϵ – угол при вершине; r – радиус при вершине

Вспомогательный задний угол α_1 измеряют во вспомогательной секущей плоскости между задней поверхностью и плоскостью, проходящую через вспомогательную режущую кромку перпендикулярно к основной плоскости. Наличие угла α_1 уменьшает трение между вспомогательной задней поверхностью инструмента и обработанной поверхностью.

Главный угол в плане φ (рис. 2.5) – это угол между рабочей

плоскостью и плоскостью резания. С уменьшением угла φ увеличивается угол при вершине ε , увеличивается активная длина режущей кромки, что ведет к уменьшению силы и температуры, приходящейся на единицу длины кромки. В связи с этим уменьшается износ инструмента. С уменьшением угла φ возрастает составляющая P_y , это приводит к возникновению вибраций в процессе резания, снижающих качество обработки. При малых углах φ затруднена токарная обработка длинных валов, так как возрастает составляющая P_y , вызывающая деформацию заготовки.

Вспомогательный угол φ_1 – угол между рабочей плоскостью и плоскостью P_1 . С уменьшением угла φ_1 шероховатость обработанной поверхности снижается, увеличивается прочность вершины резца и снижается его износ.

Угол наклона режущей кромки λ определяет наклон главной режущей кромки относительно основной плоскости. С увеличением угла λ качество обработанной поверхности ухудшается.

В процессе резания углы α и γ меняются в зависимости от условий резания, это необходимо учитывать при разработке операций механообработки.

Деформации при резании

Обработка резанием, как и все виды обработки давлением, сопряжена с пластическим деформированием обрабатываемого материала. При обработке резанием деформированный слой сосредотачивается в удаляемом слое, превращаемом в стружку.

В зависимости от условий резания (обрабатываемого материала, геометрических параметров лезвия инструмента, режима обработки, применяемых смазочно-охлаждающих веществ и др.) формирующиеся стружки различаются по размерам и форме поперечного сечения, а также по их внутреннему и внешнему строению [42].

Различают **сливную стружку**, представляющую собой сплошную ленту, как правило, постоянного сечения и **элементную стружку**, состоящую из отдельных кусочков – элементов, размеры которого сопоставимы с толщиной среза. **Суставчатая стружка** является переходным типом к сливной.

Зная закон формирования типов стружки можно управлять формой стружки, что очень важно при обработке заготовок на автоматических линиях, на станках с ЧПУ и др.

Напряжения и силы при резании

Срезание слоя металла с заготовки происходит под действием внешней силы P , приложенной со стороны инструмента к обрабатываемой заготовке. Направление вектора силы совпадает с направлением вектора скорости резания V . Работа, затрачиваемая на деформацию и разрушение металла, расходуется на упругое и пластическое деформирование металла, его разрушение, преодоление сил трения задних поверхностей инструмента о заготовку и стружки о переднюю поверхность инструмента.

Характер деформации материала под действием нагрузки будет зависеть не только от механических свойств материала и величины действующих сил, но также и от способа их приложения.

При проектировании технологических процессов обработки материалов резанием большое значение имеет не только деформации, а и напряжения, вызывающие эти деформации. Поэтому рассматривают напряженно-деформированное состояние в зоне резания. Проводят анализ распределения напряжений и действующих сил в упругой области зоны резания, в пластической области и на рабочих поверхностях инструмента.

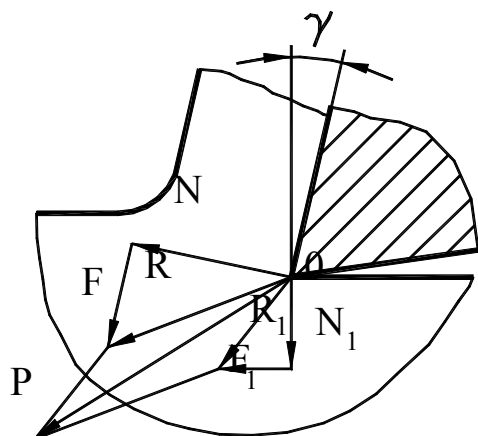


Рис. 2.6. Схема разложения силы резания P на физические составляющие [42]

В общем, на лезвие инструмента действуют две системы сил: силы R , N , F на передней поверхности и силы R_1 , N_1 , F_1 на задней поверхности (рис. 2.6). И те, и другие являются компонентами общей силы P , действующей на инструмент. Поскольку они непосредственно связаны с физическими процессами, происходящими в зоне резания, их называют **физическими** составляющими силы резания P . Знание этих составляющих находит применение при сравнении черновой и чистовой обработки. Так, при чистовой обработке значительно возрастают силы на задней грани, поэтому возрастает износ инструмента.

Технологическое значение имеют составляющие силы P : P_z , P_y , P_x (рис. 2.7), – связанные с технологическими параметрами процесса резания. Эти составляющие силы резания применяются в инженерных расчетах при конструировании металлорежущих станков, инструмента,

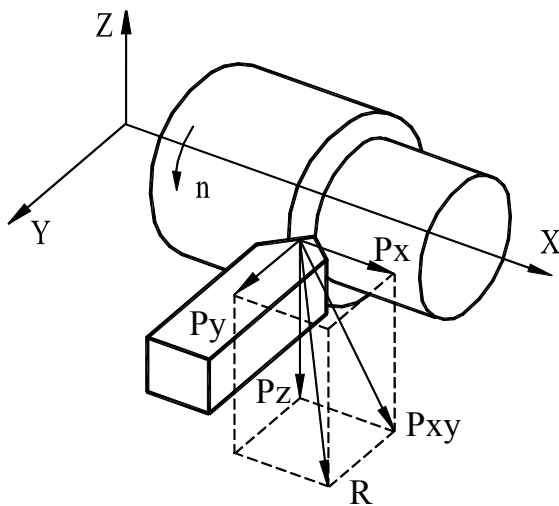


Рис. 2.7. Составляющие силы резания [42]

при проектировании операций обработки резанием.

Деформированный поверхностный слой обработанной детали можно рассматривать как часть зоны пластического течения вокруг режущей кромки, образующейся при резании, поэтому знание особенностей процесса в этой зоне и влияющих на них факторов важно для оценки качества обработанной поверхности. Особенно это касается чистовой и отделочной обработки.

Тепловые процессы в зоне резания

Деформирование и трение, составляющие физическое содержание процесса обработки резанием, сопровождаются обильным выделением тепла. При практически применяемых скоростях резания интенсивность тепловыделения столь велика, что инструмент нагревается до весьма высоких температур, и это становится одним из важнейших, а порой и самым главным фактором, определяющим его работоспособность. Нагрев обрабатываемого изделия и инструмента в процессе резания вызывает их термические деформации, которые влияют на точность обработки,

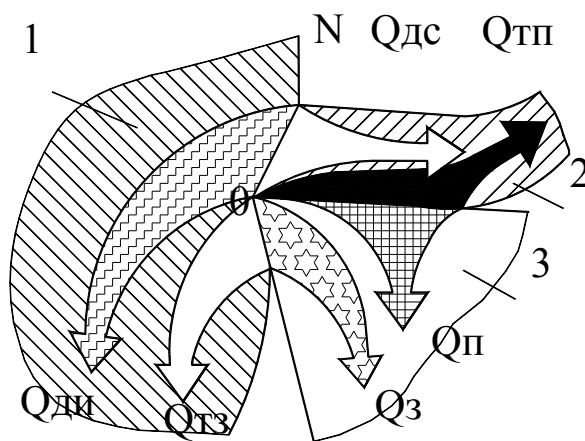


Рис. 2.8. Упрощенная схема тепловых потоков в зоне резания [42]: 1 – заготовка, 2 – стружка, 3 – резец

а также на уровень технологических остаточных напряжений в изделии [42].

Чистовое и тонкое точение характеризуется существенным возрастанием средней температуры на задней поверхности. В связи с этим возрастает износ по задней поверхности инструмента. Выделяющееся тепло частично уносится со стружкой и охлаждается жидкостью, другая часть передается инструменту и заготовке (рис. 2.8).

Различные марки режущего инструмента обладают разной теплопроводностью. Чем меньше теплопроводность режущего инструмента, тем больше вероятность повышения средней температуры на его рабочих поверхностях.

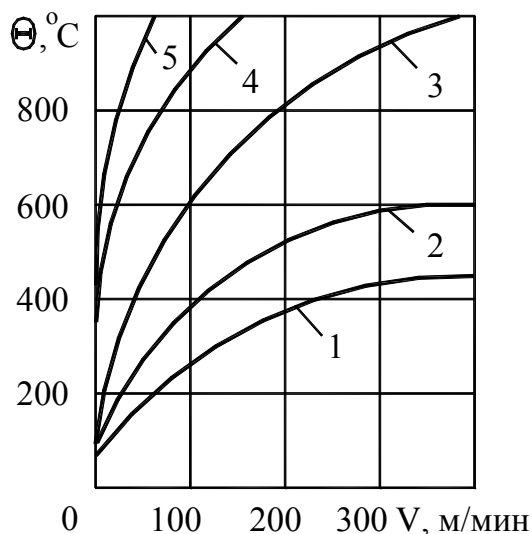


Рис. 2.9. Зависимость температуры резания от скорости резания [42]:

1 – алюминия; 2 – латуни; 3 – малолегированной стали; 4 – высоколегированной стали; 5 – титанового сплава ВТЗ-1 в условиях чистового точения

Наименьшей теплопроводностью обладают твердые сплавы. Наибольшее влияние на температуру резания оказывает скорость резания (рис. 2.9). Для понижения температуры применяют различные способы: изменяют конструкцию инструмента, заточку его рабочих поверхностей, изменяют режимы резания, применяют эффективное охлаждение при резании.

Наростообразование и его влияние на процесс резания

Ювенильность контактирующих поверхностей, высокие контактные давления и некоторые другие особенности трения при резании обуславливают высокую интенсивность адгезионных явлений, сопровождающих процесс стружкообразования. Одним из результатов этих явлений может быть задержка на передней поверхности частиц (или целых слоев) стружки. В результате образуется нарост.

Наростом называется связанное с инструментом тело (рис. 2.10), которое при определенных условиях формируется на передней поверхности из материала срезаемого слоя.

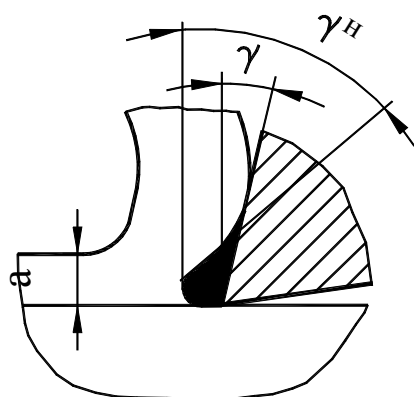


Рис. 2.10. Нарост на лезвии инструмента

Дополняя режущий клин, нарост изменяет его геометрическую форму, контактные условия и тем самым влияет на процесс образования стружки, которая в этом случае частично или полностью скользит по поверхности нароста [42]. Периодически нарост частично или полностью срывается и уносится вместе со стружкой или, попадая под резец, переносится на обработанную поверхность.

При черновой обработке нарост играет положительную роль, так как увеличивает передний угол, что приводит к снижению сил резания. Кроме того, нарост защищает контактирующие поверхности инструмента от преждевременного износа.

При чистовой обработке частицы нароста, попавшие на обработанную поверхность заготовки, значительно уменьшают шероховатость обработанной поверхности.

Наростообразование зависит от пары режущий-обрабатываемый материал, режимов резания, смазочно-охлаждающей жидкости и т.д. Нарост образуется в определенном температурном диапазоне

($\Theta_H = 60 \dots 600^\circ\text{C}$), проходя максимум при $\Theta_H = 250 \dots 300^\circ\text{C}$. Для выполнения качественной чистовой обработки температура в зоне резания должна быть либо меньше 60°C (скорость резания меньше 12 м/мин), либо больше 600°C (скорость резания больше 50 м/мин).

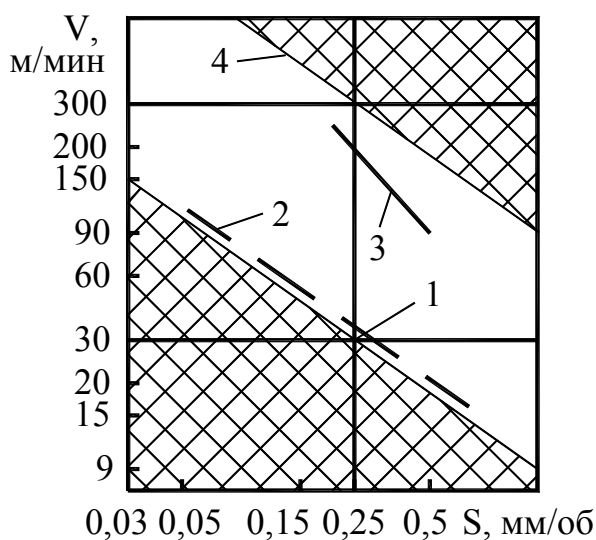


Рис. 2.11. Карта обрабатываемости стали с 0,4% С, имеющей твердость HV 200, инструментом из твердого сплава для обработки стали (Wimet XLS) [61]: 1 – большой нарост; 2 – появление лунки износа; 3 – начало деформации; 4 – быстрый износ

Для определения зоны резания без нароста за рубежом строят карты обрабатываемости для каждой пары режущий – обрабатываемый материал, по которым назначают режимы резания (рис. 2.11).

В последние годы в механообработке увеличивается доля инструмента (быстрорежущего и твердосплавного) с нанесенными покрытиями. Это позволяет в значительно увеличивать скорость резания и тем самым гарантированно работать за зоной наростообразования.

Износ и стойкость инструмента

Трение между стружкой и передней поверхностью инструмента и между поверхностью резания и главной задней поверхностью приводит к изнашиванию режущего инструмента. Высокие контактные давления и температура резания вызывают следующие **виды изнашивания** (рис. 2.12): адгезионный; усталостный; абразивный; термоусталостное

разрушение; окисление; диффузионные процессы; высокотемпературная ползучесть.

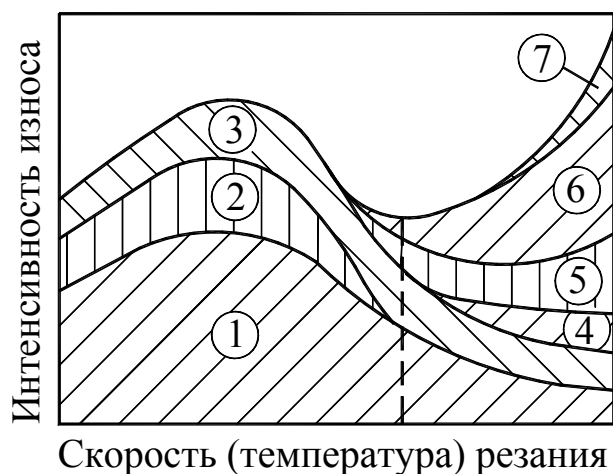


Рис. 2.12. Влияние скорости (температуры) резания на интенсивность износа режущего инструмента [31]: 1 – адгезия; 2 – усталостный износ; 3 – абразивный износ; 4 – термоусталостное разрушение; 5 – окисление; 6 – диффузионные процессы; 7 – пластическое течение

В зависимости от режимов работы инструмента превалирует тот или иной вид износа.

Для эксплуатации режущего инструмента важно знать, как быстро режущая часть изменяет свою форму в результате воздействия на инструмент в процессе резания механических и тепловых нагрузок. Изменение формы режущей части инструмента происходит непрерывно. По истечении некоторого промежутка времени эти изменения становятся столь существенными, что инструмент либо вовсе теряет

способность снимать срезаемый слой, либо не обеспечивает выполнение заданных технологических требований к обрабатываемой детали. Различают три вида износа:

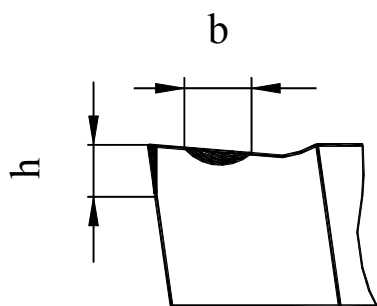


Рис. 2.13. Характер износа реза: b – по передней поверхности; h – по задней

- износ по передней поверхности;
- износ по задней поверхности;
- одновременный износ по обеим поверхностям (рис. 2.13).

Износ по передней поверхности характерен для быстрорежущих сталей. Износ по задней поверхности характерен для твердых сплавов. Одновременный износ по обеим поверхностям характерен для твердых сплавов при повышенных температурах.

При резании возможно хрупкое разрушение режущей части или пластическая деформация.

Хрупкое разрушение (рис. 2.14, а) – результат возникновения и развития трещин за счет развития микротрещин, которые нередко возникают в процессе получения лезвия инструмента, а также в процессе температурных, химических и других воздействий. Наиболее типично

хрупкое разрушение для минералокерамических и твердосплавных (группа ТК) с малым содержанием кобальта материалов. Излом происходит при обработке с ударом, например, при точении вала со шпоночным пазом.

Для уменьшения трещин после заточки необходимо производить доводку инструмента абразивной пастой. Перед пайкой пластин необходим предварительный медленный разогрев тела резца и пластины, а затем медленное их охлаждение.

Пластическая деформация (рис. 2.14, б) возникает при недостаточной твердости инструментального материала. Устойчивость режущей части инструмента против пластического деформирования гарантируется при соблюдении условия:

$$H_{и} / H_{ф} > 1,4,$$

где $H_{и}$ – твердость инструмента, $H_{ф}$ – твердость стружки.

При повышении температуры резания твердость инструментального материала падает, а стружки остается практически неизменной. Течение режущей кромки характерно для твердых сплавов, работающих при температуре выше 1000°C .

Допустимое значение износа называют критерием износа. В

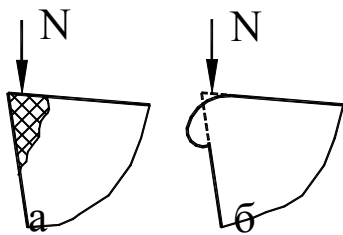


Рис. 2.14. Разрушение инструмента: а – хрупкое; б – пластическая деформация

большинстве случаев за критерий износа принимают износ инструмента h по главной задней поверхности. Для токарных резцов из быстрорежущей стали $h=1,5...2$ мм, для резцов, оснащенных пластинками твердого сплава $h=0,8...1$ мм. Допустимый износ соответствует определенному периоду стойкости инструмента.

Износ инструмента вызывает рост силы резания, что увеличивает деформацию заготовки и инструмента и еще более снижает точность обработки. Растут глубина наклепанного слоя на заготовке и силы трения между заготовкой и инструментом, а это приводит к увеличению тепловыделения при резании.

Для уменьшения влияния износа инструмента на точность и качество обработки применяют автоматические размерные подналадчики металлорежущих станков, либо делают принудительную замену инструмента через определенный промежуток времени.

Способность режущего инструмента сохранять работоспособными свои контактные поверхности и лезвия называют **стойкостью** инструмента, а время T , в течение которого это происходит, – периодом

стойкости. Период стойкости равен времени работы инструмента между двумя заточками.

Период стойкости любого инструмента зависит от рода, механических и теплофизических свойств обрабатываемого и инструментального материалов, геометрических параметров инструмента, факторов режима резания и применяемой СОЖ. Так как стойкостные зависимости трудно прогнозировать, их устанавливают в настоящее время в основном экспериментально. На стойкость инструмента T наибольшее влияние оказывает скорость резания:

$$T = \frac{C_1}{V^{m_1}} \text{ мин,}$$

где C_1 – некоторая постоянная; m_1 – показатель степени, равный тангенсу угла наклона прямой к оси абсцисс, проведенной через опытные точки, нанесенные в двойной логарифмической сетке координат.

Стойкость инструмента выбирается по справочнику исходя из рассчитанной скорости резания. Если необходима определенная стойкость, то ее выбирают по справочнику, но скорость резания уже будет отличаться от рассчитанной. Значения стойкости обычно находятся в пределах 30, 40, 60, 90, 120, 180 мин. Меньшие значения для резцов, большие – для дорогостоящего инструмента: фрез, протяжек и др. За рубежом резание производят на более высоких скоростях, поэтому стойкость инструмента снижается. Так для точения часто выбирают стойкость равную всего 20 мин. Хотя при этом происходит интенсивный износ инструмента, но производительность выше и инструмент окупается.

В связи с тем, что стойкость инструмента даже в одной партии заметно отличается, то при обработке в автоматизированном производстве и на станках с ЧПУ производят принудительную замену инструмента через определенный промежуток времени (меньший, чем оптимальная стойкость инструмента).

Упрочнение при обработке резанием

При обработке резанием вершина резца не является абсолютно острой. При обычных методах заточки радиус скругления режущей кромки равен 0,02...0,03 мм. Такой инструмент срезает с заготовки стружку при условии, что глубина резания t больше радиуса ρ (рис. 2.15). Тогда в стружку переходит часть срезаемого слоя металла, лежащая выше линии CD. Слой металла соизмеримый с радиусом ρ и лежащий между линиями AB и CD, упругопластически деформируется. При работе ин-

струмента значение радиуса ρ быстро растет вследствие затупления режущей кромки и расстояние между линиями АВ и CD увеличивается.

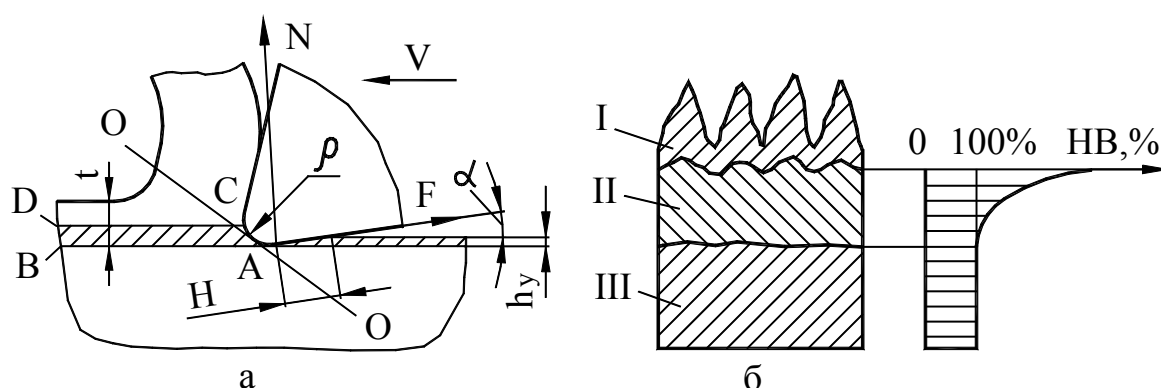


Рис. 2.15. Схема образования поверхностного слоя заготовки (а) и эпюра распространения упрочнения по толщине заготовки (б) [58]

Упрочнение металла обработанной поверхности заготовки проявляется в повышении ее поверхностной твердости. Твердость металла обработанной поверхности после обработки резанием может увеличиваться в ~ 2 раза. Значение твердости может колебаться, так как величина пластической деформации и ее глубина зависят от физико-механических свойств металла обрабатываемой заготовки, геометрии режущего инструмента, режима резания и способа обработки.

После перемещения резца относительно обработанной поверхности происходит упругое восстановление поверхностного слоя на величину h_y – упругое последствие. В результате образуется контактная площадка шириной H между обработанной поверхностью и вспомогательной задней поверхностью резца. Со стороны обработанной поверхности возникают силы нормального давления N и трения F . Чем больше значение упругой деформации, тем больше сила трения. Для уменьшения сил трения у режущего инструмента делают задние углы (α и α_1), значения которых зависят от степени упругой деформации металла заготовки.

Упругопластическое деформирование металла приводит к возникновению в поверхностном слое заготовки остаточных напряжений растяжения или сжатия. Напряжения растяжения снижают сопротивление усталости металла заготовки, так как приводят к появлению микротрещин в поверхностном слое, развитие которых ускоряется действием корродирующей среды. Напряжения сжатия, напротив, повышают сопротивление усталости деталей. Неравномерная релаксация остаточных напряжений искажает геометрическую форму обработанных поверхностей, снижает точность их взаимного расположения и размеров. Релак-

сация напряжений, продолжающаяся в процессе эксплуатации машин, снижает их качество и надежность.

Следовательно, окончательную обработку поверхностей заготовок следует вести такими методами и в таких условиях, чтобы остаточные напряжения отсутствовали или были минимальными. Целесообразно, чтобы в поверхностном слое возникали напряжения сжатия. Напряжения можно снизить, применяя, например, электрохимическую обработку. Для получения в поверхностном слое напряжений сжатия можно рекомендовать обработку тонким пластическим деформированием, например, обкатку поверхностей заготовок стальным закаленным роликом или шариком, дорнованием, деформирующими развертками.

Условно поверхностный слой обработанной заготовки можно разделить на три зоны (рис. 2.15, б): I – зона разрушенной структуры с измельченными зернами, резкими искажениями кристаллической решетки и большим количеством микротрещин; ее следует обязательно удалять при каждой последующей обработке поверхности заготовки; II – зона наклепанного металла; III – основной металл. В зависимости от физико-механических свойств металла обрабатываемой заготовки и режима резания глубина наклепанного слоя составляет несколько миллиметров при черновой обработке и сотые или тысячные доли миллиметра при чистовой обработке. Пластичные металлы подвергаются большему упрочнению, чем твердые.

Наклеп обработанной поверхности можно рассматривать как полезное явление, если возникают остаточные напряжения сжатия. Однако наклеп, полученный при черновой обработке, отрицательно влияет на процесс резания при чистовой обработке, когда срезаются тонкие стружки. В этом случае инструмент работает по поверхности с повышенной твердостью, что приводит к его быстрому затуплению, шероховатость поверхности увеличивается.

Точность, качество и производительность обработки

Под точностью обработки понимают соответствие размеров, формы и взаимного расположения обработанных поверхностей требованиям чертежа. Допустимые отклонения фактических размеров обработанных поверхностей деталей от конструкторских размеров, предельные отклонения формы и точность взаимного расположения поверхностей, указываемых в рабочем чертеже, определяются государственными стандартами.

Одним из показателей качества обработанной поверхности является шероховатость.

Шероховатость – совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами, обычно включающая неровности, получаемые в результате применяемого метода изготовления и/или другими воздействиями. Шероховатость является функцией режимов резания, углов в плане, радиуса при вершине, состава смазочно-охлаждающей жидкости и др. Шероховатость оценивается несколькими параметрами, в частности, параметром Ra – средним арифметическим отклонением профиля, т. е. средним арифметическим абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины обработанной поверхности. Предпочтительные значения Ra (мкм): для предварительной черновой обработки 100...12,5; для чистовой обработки – 6,3...0,4; для отделочной и доводочной обработки – 0,2...0,012.

Чем выше требования, предъявляемые к точности и качеству поверхностей, тем длительнее процесс обработки заготовки и сложнее технологический процесс изготовления детали.

Производительность обработки определяет число деталей, изготавливаемых в единицу времени.

Применяя технологические процессы механической обработки, производитель продукции заинтересован в максимальной производительности выбранного процесса. Производительность механообработки P_M зависит от многих факторов:

$$P_M = f(N, V, S, t, J, P_o, M_{и}, M_M, L_o, K),$$

где N – мощность станка, V – скорость резания, S – подача, t – глубина резания, J – жесткость системы СПИД, P_o – припуск на обработку, $M_{и}$ – марка режущего инструмента, M_M – марка обрабатываемого материала, L_o – количество одновременно работающих лезвий, K – другие факторы.

Среди универсального оборудования наибольшей производительностью обладают фрезерные станки, особенно с применением торцовых фрез, меньшая производительность у токарных, сверлильных, шлифовальных станков. Наименьшей производительностью обладают электроэрозионные станки.

2.4. Лезвийная обработка наружных цилиндрических поверхностей

Цилиндрические поверхности в металлообработке получают прокатом, ковкой, литьем, горячей штамповкой, волочением, точением, шлифованием, протягиванием и др.

2.4.1. Точение на токарных станках

Точение – лезвийная обработка с вращательным главным движением резания и возможностью изменения радиуса его траектории. Для токарной обработки применяются токарные, токарно-карусельные, лоботокарные, токарные автоматы и полуавтоматы, токарные с ЧПУ и токарные станки специального назначения. Токарные станки подразделяются по функциональному назначению, габаритам обрабатываемых заготовок (рис. 2.16) и т.п.

На токарном станке производится обработка поверхностей: наружных цилиндрических, конических, фасонных и внутренних поверхностей, подрезание торцов, нарезание наружных и внутренних резьб, протачивание канавок (рис. 2.17, 2.18), центрование, сверление, зенкование, зенкерование, развертывание. Для выполнения этих работ применяют резцы, плашки, метчики, центровочные и спиральные сверла, зенковки, зенкеры, развертки, и т.п. Заготовки закрепляются в патроне,

Металлорежущие станки	Диаметр заготовки, мм			
	0,5...5	5...50	50...500	500...3000
Токарный станок часового типа	xxxxxxxxxxxx			
Автомат фасонно-продольного точения	xxxxxxxxxxxx			
Автомат токарно-револьверный	xxxxxxxxxxxx			
Токарно-револьверный станок	xxxxxxxxxxxx			
Токарный станок типа 16К20	xxxxxxxxxxxx			
Токарный станок типа СТП320	xxxxxxxxxxxx			
Токарно-карусельный станок	xxxxxxxxxxxx			

Рис. 2.16. Применяемость токарных станков и автоматов

в цанге, на оправке, на разрезной втулке. Точность установки заготовки в зажимном приспособлении (в патроне или цанге) можно повысить, расточив базирующие поверхности кулачков патрона или базирующие поверхности цанги непосредственно на станке. Различают черновое точение, получистовое, чистовое и тонкое. При черновом точении с заго-

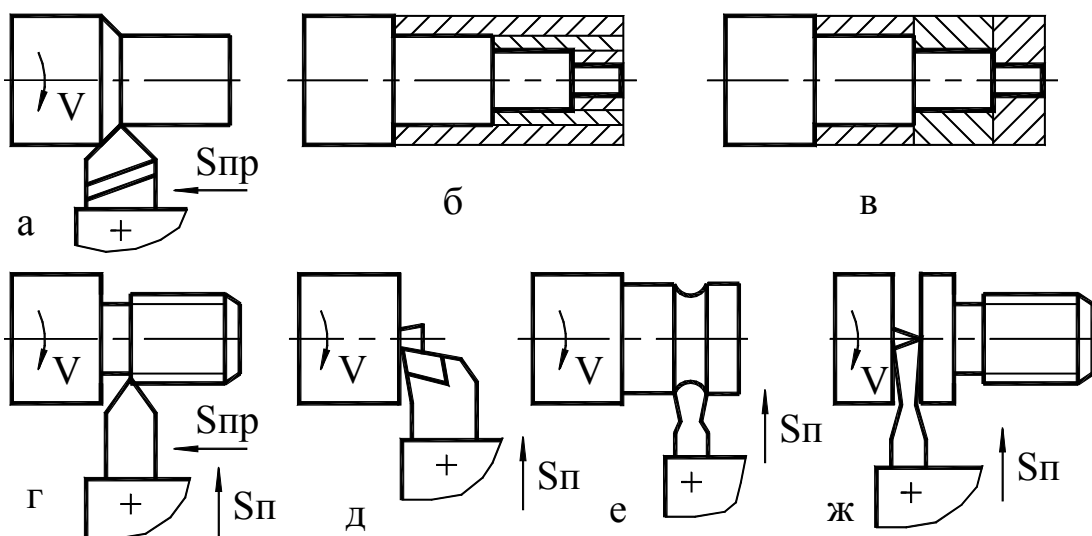


Рис. 2.17. Обработка наружных поверхностей на токарных станках:

а – продольное наружное точение; б, в – схемы снятия припуска;
 г – нарезание резьбы; д – подрезка торца; е – точение канавок; ж – отрезка детали;
 Sп – поперечная подача; Sпр – продольная подача

товки снимается основная часть припуска. При чистовом и тонком точении формируются основные показатели качества детали.

Схемы обработки идентичны как для чернового, так и для чистового и тонкого точения (рис. 2.17). Изменяется лишь величина снимаемого припуска, марка режущего материала, увеличивается скорость резания, повышается класс точности применяемого оборудования и осна-

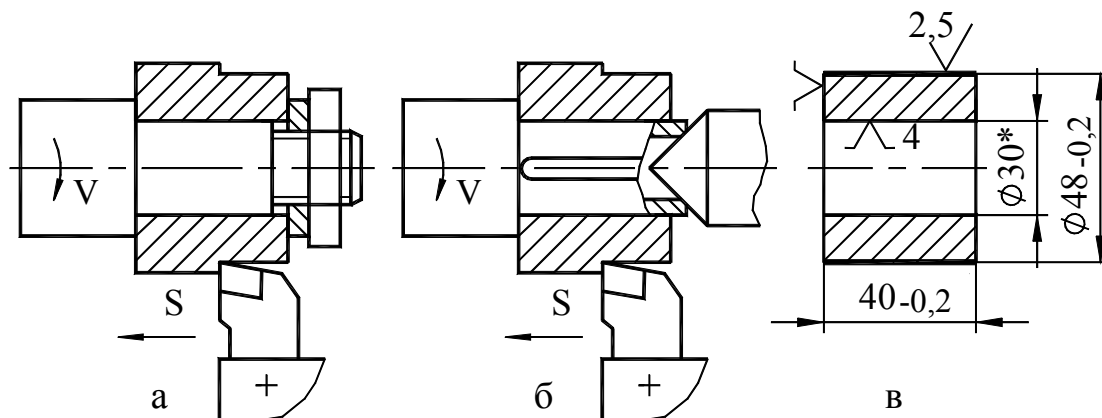


Рис. 2.18. Точение наружного цилиндра втулки: а – на оправке; б – на разрезной втулке; в – операционный эскиз

стки.

Запись токарной операции (по рис. 2.18, в) в технологической документации производится следующим образом:

11 1 030

4110 Токарная

*А. Установить заготовку на оправке.
База – внутренний диаметр и торец*

- 1. Точить наружную поверхность $\varnothing 48_{-0,2}$ мм на длину 40 $_{-0,2}$ мм. Шероховатость $Ra = 2,5$ мкм.
(или 1. Точить заготовку согласно операционному эскизу)*

*Р. прох. отогнутый НР-106 –125-2-45°-Т15К6; штангенциркуль
ШЦ II-150– 0,05; образцы шероховатости*

- 2. Снять заусенцы*

*Напильник 2820-0012; Р. прох. отогнутый НР-106 –125-2-45°-
Т15К6; шабер*

2.4.2. Обработка на автоматах фасонно-продольного точения

Обработка заготовок на станках фасонно-продольного точения (рис. 2.19) производится из прутка. Пруток при необходимости предва-

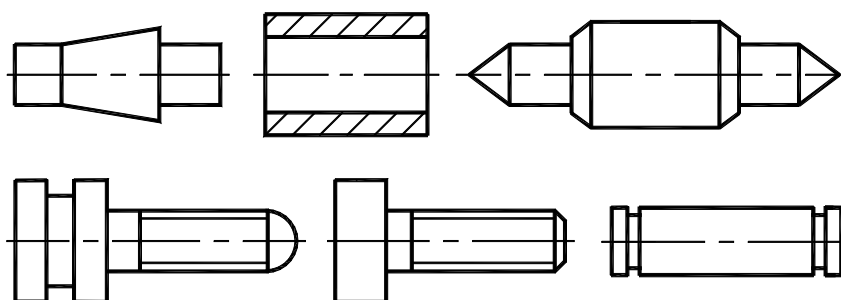


Рис. 2.19. Детали, полученные на станках фасонно-продольного точения

рительно правится (рихтуется). Допуск на диаметр прутка должен быть минимальным, так как в автоматах используются цанги с калиброванными внутренними отверстиями. Обычно применяют холодотянутые прутки. Если необходима более точная заготовка, или наружный диаметр не будет обрабатываться, применяют шлифованные прутки (серебрянка).

Главной особенностью работы автоматов фасонно-продольного точения является продольное (вдоль оси заготовки) перемещение прутка, а не суппорта с инструментом, как у обычных токарных станков. Суппорты с инструментами имеют только поперечное перемещение.

Обработка втулки (рис. 2.20) на автомате фасонно-продольного точения (рис. 2.21) имеет некоторые тонкости. Так как толщина стенки втулки всего 0,5 мм, то вначале необходимо сверлить отверстие (большие силы резания), затем произвести обработку резцом наружного цилиндра (контакт инструмента с заготовкой точечный – силы резания небольшие). Последовательность обработки заготовки следующая: вначале производится подрезка торца; перед сверлением заготовка центруется (в качестве центровочного сверла обычно применяется сверло большего диаметра); затем сверлится отверстие; после сверления заготовка обтачивается по наружному диаметру и отрезается. На этом цикл обработки детали заканчивается.

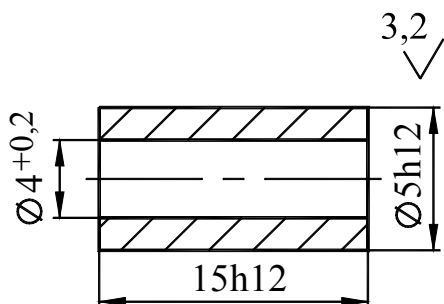


Рис. 2.20. Эскиз втулки

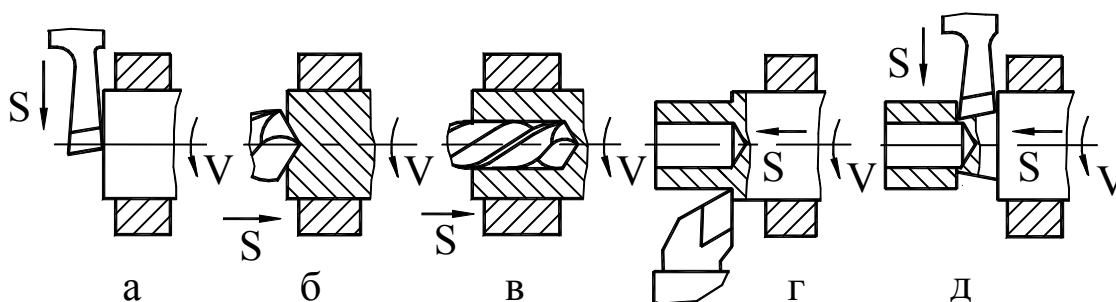


Рис. 2.21. Обработка заготовки на автомате фасонно-продольного точения: а – подрезка торца, б – сверление отверстия, в – рассверливание отверстия, г – точение конуса, д – отрезка детали

Для изготовления детали всегда разрабатывается операционный эскиз и карта наладки, независимо от того, как производится управление станком: с помощью устройства ЧПУ или кулачками. Для кулачковых автоматов изготавливаются кулачки для перемещения всех суппортов, шпиндельной бабки и сверлильного приспособления.

Запись в технологической документации токарно-автоматной операции производится следующим образом:

11 1 020

4112 Автоматная токарная

1. Точить заготовку согласно операционному эскизу и карте наладки

2.4.3. Обработка на токарно-револьверных автоматах

Обработка заготовок на токарно-револьверных автоматах (рис. 2.22) производится из холоднотянутого прутка. Применяются прутки цилиндрического, квадратного и шестигранного сечения. При необходимости прутки перед обработкой рихтуются. Оптимальный вариант обрабатываемого материала – автоматная сталь А12. Однако детали получают и из других материалов, как черных, так и цветных.

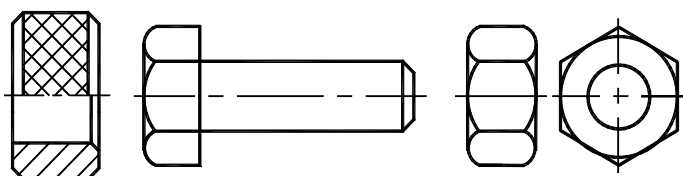


Рис. 2.22. Детали, получаемые на токарно-револьверных автоматах

Цикл обработки заготовки (рис. 2.23) начинается с подрезки торца. Затем пруток подается на необходимую длину (до упора, установленного на револьверной головке). Основная (продольная) обработка производится инструментами, установленными в револьверной головке. С одного из поперечных суппортов производится отрезка готовой детали. С другого суппорта производится несложная обработка с поперечной подачей: точение фаски, накатка, профильная обработка круглым резцом.

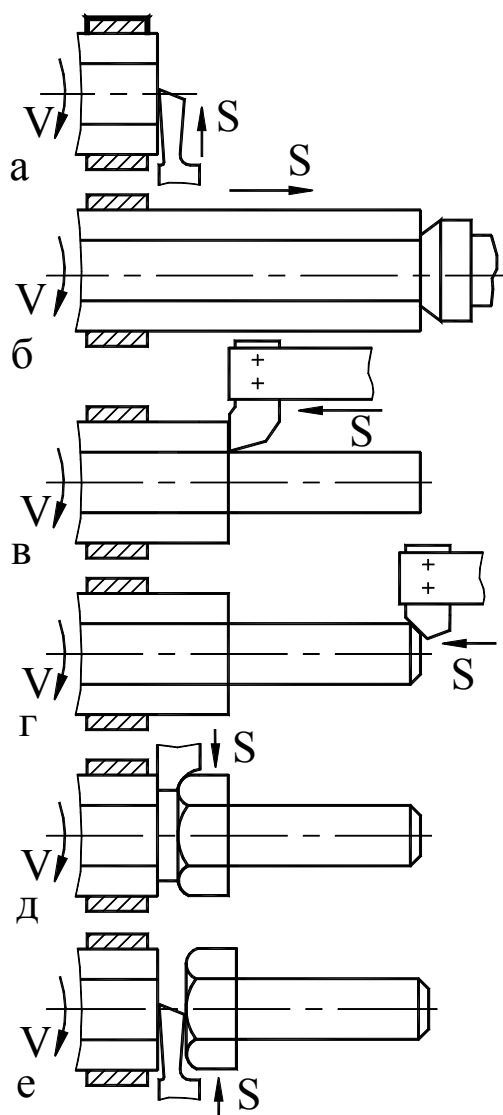


Рис. 2.23. Обработка заготовки болта

Запись в технологической документации автоматной операции производится следующим образом:

11 1 020 4112 Авто-
матная токарно-револьверная

1. Точить заготовку со-
гласно операционному эскизу и
карте наладки

2.4.4. Фрезерование наружных цилиндрических поверхностей

Обработка наружных цилиндрических поверхностей может производиться на фрезерных станках с ЧПУ или обрабатывающих центрах, при обработке нескольких поверхностей за один установ, для повышения точности взаимного расположения поверхностей. Фрезерование производят периферией концевой фрезы.

Контурное фрезерование часто выполняют на станках с ЧПУ концевыми фрезами, как на поворотных столах, так и посредством круговой интерполяции или за счет применения специальных G-функций (рис. 2.24). Метод производителен при малой глубине фрезерования

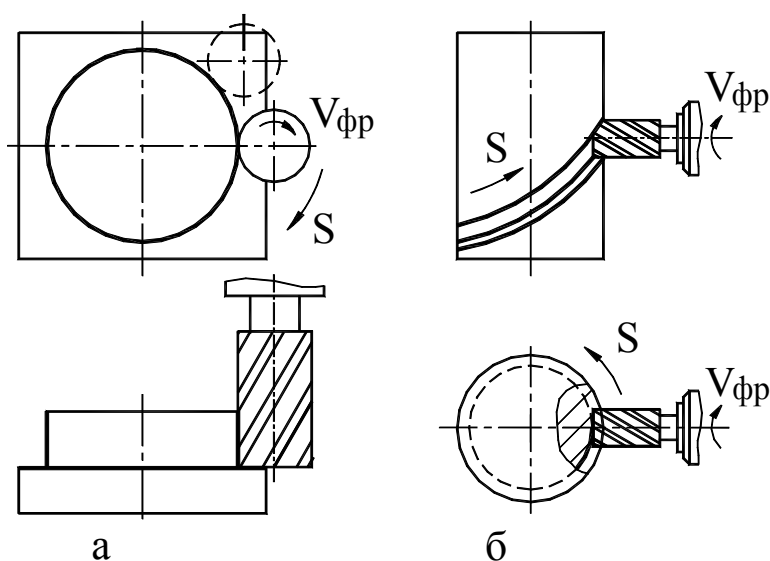


Рис. 2.24. Фрезерование наружных цилиндрических поверхностей на станках с ЧПУ: а – посредством круговой интерполяции; б – применением G-функции (фрезерование прямоугольной резьбы на цилиндре)

(при $L / d_{фр} < 1$).

Достигаемая точность при контурном фрезеровании по 10 – 9 качеству, шероховатость поверхности $Ra = 8...3,2$ мкм.

2.5. Шлифование наружных цилиндрических поверхностей

К абразивной обработке относятся: шлифование, суперфиниширование, доводка (притирка), полирование. Суперфиниширование, доводка, полирование применяются при отделочной обработке заготовок. Шлифование применяется как самостоятельная операция, так и чистовая или финишная операция после точения, фрезерования, строгания,

при значительной твердости поверхностного слоя заготовок, при обработке закаленных сталей и чугунов, заточке твердосплавного инструмента и т. д.

Шлифование наружных поверхностей деталей типа тел вращения производят на круглошлифовальных, торцекруглошлифовальных станках, бесцентровошлифовальных полуавтоматах и автоматах как высокой, так и особо высокой точности.

При обработке на круглошлифовальных и торцекруглошлифовальных станках заготовки устанавливают в патроне (рис. 2.25, а), центрах (рис. 2.25, б – е), цанге или в специальном приспособлении.

Основными показателями, характеризующими качество поверхностного слоя после шлифования, являются микротвердость, глубина

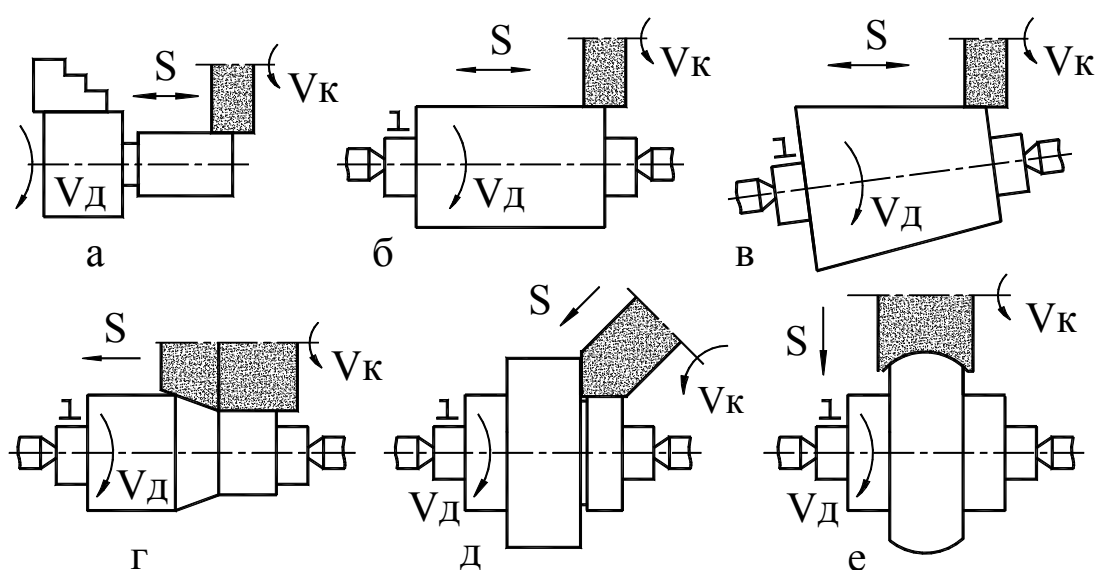


Рис. 2.25. Наружное шлифование: а – продольное в патроне; б – продольное в центрах; в – продольное конуса в центрах; г – глубинное в центрах; д – врезное с обработкой торца; е – врезное фасонное

структурных изменений, остаточные напряжения, наличие шлифовочных трещин. Шероховатость поверхности после абразивной обработки зависит от зернистости абразивного порошка (табл. 2.2).

Запись в технологической документации круглошлифовальной операции (рис. 2.26) производится следующим образом:

15 1 040 4131 Круглошлифовальная
Станок круглошлифовальный точности «В»

А. Установить заготовку в центрах

Таблица 2.2

Выбор зернистости абразивного порошка

Зернистость порошка		Шерохова- тость обра- ботанной по- верхности Ra, мкм	Вид операции
Абразив- ного	Алмазного, эльборового, кубонитового		
200–100		12,5...6,3	обдирка и зачистка отли- вок, поковок, крупных штампованных заготовок
80–50		6,3...3,2	предварительное плоское шлифование торцом кру- га, отрезные работы
40–25		2,5...1,6	предварительное шлифо- вание и заточка, правка алмазных кругов
20–12	160/125 – 100/80	1,6...0,8	предварительное шлифо- вание
10–8	80/63 – 63/50	0,8...0,4	окончательное шлифова- ние и заточка твердо- сплавного инструмента
6–5	50/40	0,4...0,2	отделочное шлифование, доводка, резьбошлифова- ние
M40–M28	40/28-28/20	0,2...0,1	суперфиниширование, доводка, притирка
M20–M10	20/14-10/7	0,1...0,05	доводка, притирка, отде- лочная обработка
M7–M5	7/5-3/2	0,05...0,02	отделочная обработка

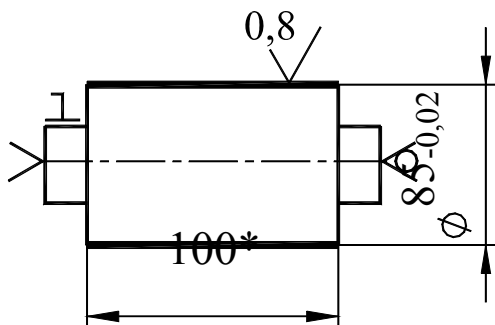


Рис. 2.26. Операционный эскиз круглошлифовальной операции

*Центры 7032–0018 ПТ ГОСТ
13214–79; хомутик; поводок.*

*1. Шлифовать наружный диа-
метр $\varnothing 85_{-0,02}$ мм*

*Круг шлифовальный
ПП400x40x127 91A 25П СМ1 7 К5
35м/с А 1кл; Скоба рычажная
75...100, ц. д. 0,002; Концевые
меры длины 5 класса.*

2.6. Получение отверстий в заготовках

Обработка отверстий производится лезвийным и абразивным инструментом, а также электрофизическими методами (рис. 2.27).

К лезвийным инструментам относятся сверла, зенкеры, развертки, расточные резцы, протяжки. Обработку отверстий лезвийным инструментом производят на станках следующих групп: сверлильной (вертикально-сверлильные, радиально-сверлильные); расточной (горизонтально-расточные, координатно-расточные, горизонтальные и вертикальные отделочно-расточные); протяжной группы (горизонтальные и вертикальные полуавтоматы) как обычного исполнения, так и с ЧПУ [58]. Обработка отверстий тел вращения производится на станках токарной группы. В мелкосерийном производстве, для сокращения числа операций (установов), сверление, зенкерование, развертывание и раскатывание отверстий может производиться на фрезерных и многооперационных станках.

Сверлением получают отверстия в сплошном материале. Для неглубоких отверстий используются стандартные сверла диаметром 0,2...80 мм. Для снижения сил при обработке сверлами большого диаметра вначале сверлят отверстие диаметром 10...15 мм, а затем расверливают сверлами большего диаметра. Для получения наклонных отверстий применяют специальные приспособления.

Зенкерование применяют для предварительной обработки литых, штампованных или просверленных отверстий под последующее развертывание, растачивание или протягивание. Зенкерование может применяться и как заключительный этап обработки отверстия.

Развертывание – чистовая обработка отверстий с точностью до 7-го квалитета. В связи с высокой точностью обработки необходимо учитывать применяемую пару режущий – обрабатываемый материал. При одном и том же диаметре развертки может быть положительная или отрицательная разбивка получаемого отверстия.

Растачивание отверстий применяют для получения отверстий большего диаметра, повышения точности и уменьшения шероховатости отверстия полученного сверлением или зенкерованием. Применение расточных операций на координатно-расточных станках позволяет получать более точные межцентровые расстояния. Расточкой достигается меньший увод оси отверстия.

В мелкосерийном производстве часто применяют алмазное растачивание для отделочной обработки отверстий.

Шлифование применяют для увеличения точности и повышения качества обрабатываемого отверстия. Шлифование отверстий часто при-

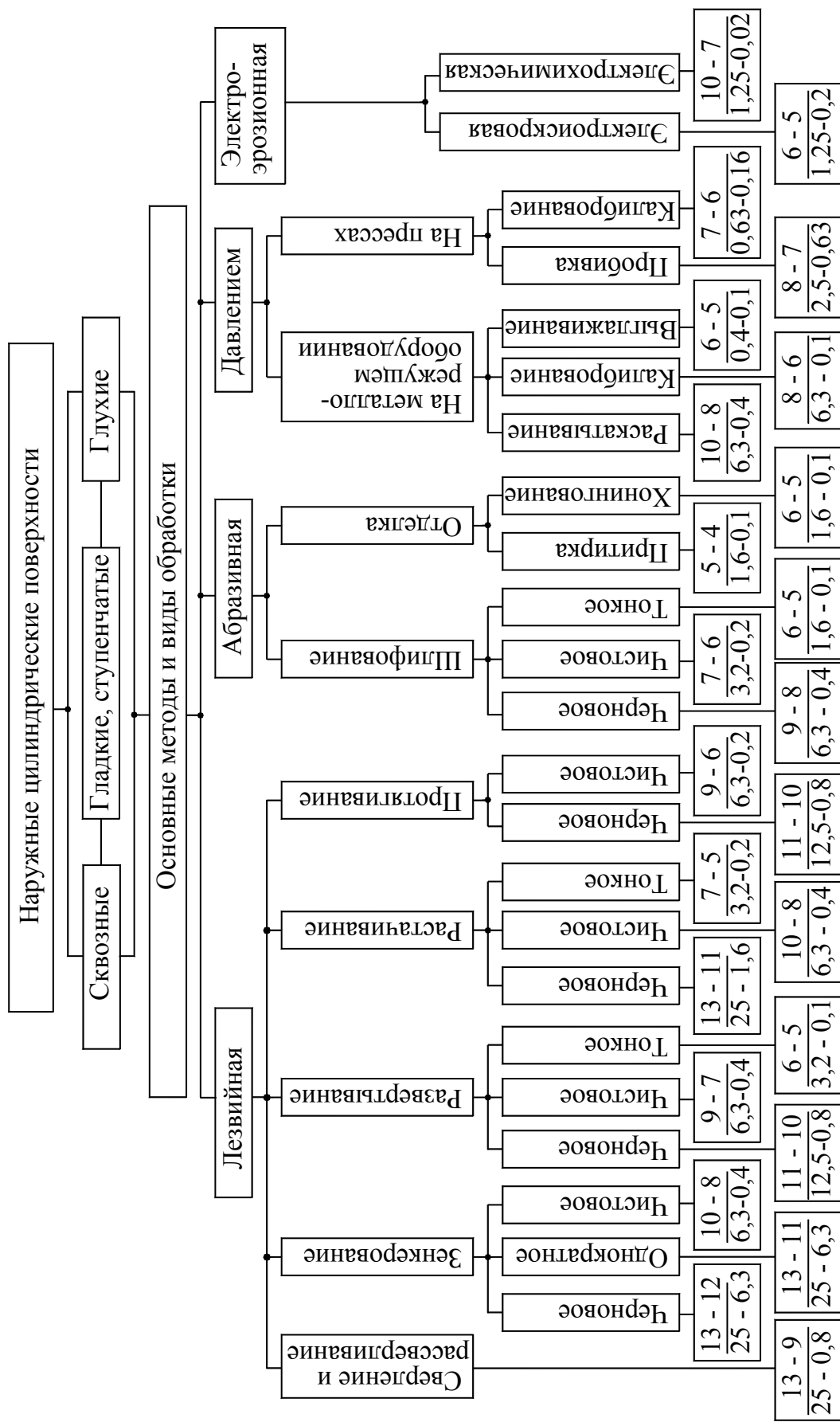


Рис. 2.27. Классификация видов обработки внутренних цилиндрических поверхностей: цифры в числителе означают достигаемые квалитеты точности, в знаменателе - параметр шероховатости Ra, мкм

меняют в мелкосерийном производстве. Другие виды абразивной обработки, суперфиниширование и хонингование, применяют для отделочной обработки отверстий в серийном и массовом производстве.

Протягивание отверстий применяют в серийном и массовом производстве для повышения точности отверстия и уменьшения шероховатости обработанной поверхности. Протягивание является наиболее производительным способом обработки.

Электроэрозионная обработка применяется для получения точных отверстий. Метод мало производителен.

2.6.1. Получение неглубоких отверстий

Неглубокие отверстия с $L/d \leq 5 \dots 10$ получают сверлением на сверлильных, токарных, фрезерных, координатно-расточных станках.

На сверлильных станках получают отверстия различного диаметра с применением сверл, зенкеров, зенковок, разверток в заготовках различной конфигурации (рис. 2.28). Для направления сверла часто ис-

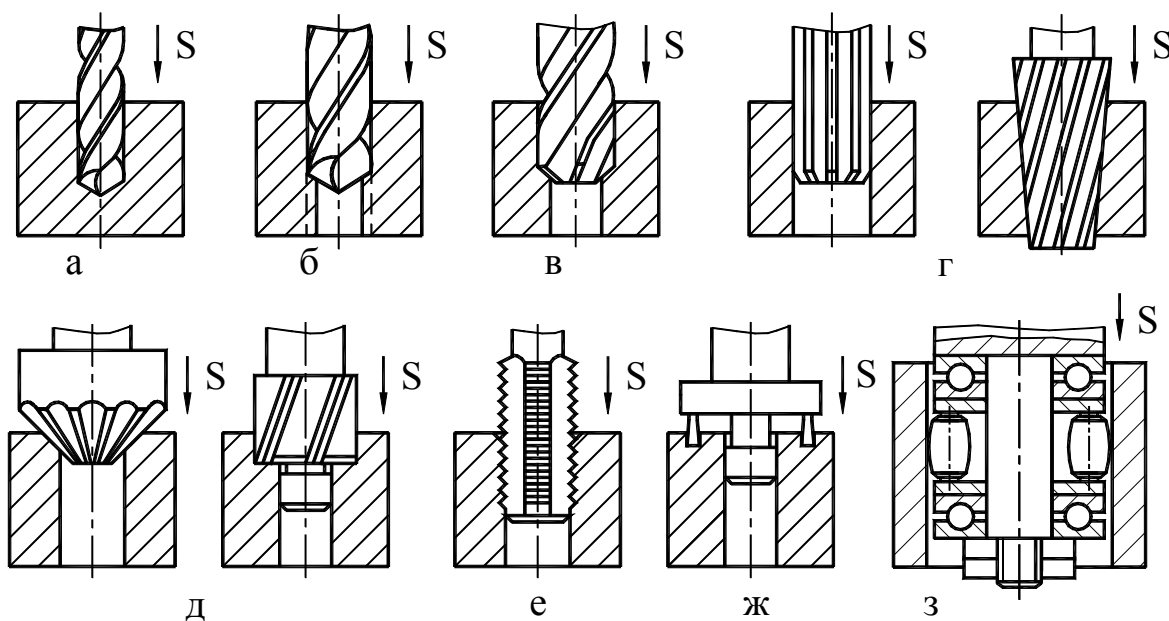


Рис. 2.28. Работы, выполняемые на сверлильных станках: а – сверление; б – рассверливание; в – зенкерование; г – развертывание; д – зенкование; е – нарезание резьбы; ж – получение торцовых канавок и вырезание дисков; з – раскатывание

пользуется специальное приспособление – кондуктор (кондукторная плита). Режущий инструмент с цилиндрическим хвостовиком зажимают в сверлильном патроне. Инструмент с коническим хвостовиком (конус Морзе) крепят в шпинделе с помощью переходных конусов. Развертки закрепляют в специальных патронах, позволяющим развертке самоу-

танавливаться в отверстия. Метчики крепят также в специальном патроне, дающем метчику свободу перемещения вдоль оси отверстия с целью его перемещения с подачей, равной шагу резьбы.

Выбор способа (последовательности) обработки отверстий в зависимости от их размеров, требуемой точности обработки и вида заготовки (сплошной материал, прошитые и литые отверстия) производится по данным табл. 2.3.

На токарных станках получают центральное (по оси заготовки) отверстие (рис. 2.29). Сверлением получают отверстие диаметром до 60...80 мм с точностью по 12...14 качеству и шероховатостью $Rz = 12,5$ мкм. Для повышения точности и уменьшения шероховатости поверхности отверстие зенкеруют и развертывают. Для получения отверстия большего диаметра (> 60...80 мм), полученное после сверления отверстие растачивают. При этом повышается точность отверстия (10...8 качество на станках нормальной точности) и уменьшается шероховатость – до $Ra = 2,5...1,6$ мкм. Тонким растачиванием на станках повышенной точности с применением специальных расточных резцов достигается шероховатость $Ra = 1,25...0,63$ мкм и точность 7...6 качества. Перед сверлением отверстия необходимо подрезать торец и зацентровать заготовку центровочным сверлом (рис. 2.29, а). Зацентрирование отверстия производят обязательно, если предстоит получить отверстие малого диаметра (до 10...15 мм). Центровочное сверло и сверло с

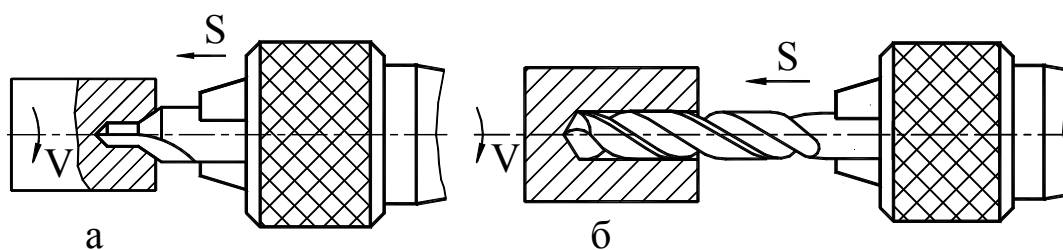


Рис. 2.29. Сверление отверстий: а – центрование; б – сверление

цилиндрическим хвостовиком крепят в сверлильном или в цанговом патроне. Для получения отверстия более высокой точности его затем зенкеруют и развертывают.

Увеличить диаметр отверстия после сверления, исправить погрешности увода сверла, уменьшить шероховатость обработки можно растачиванием. Способ расточки отверстий зависит от глубины отверстия и его диаметра. Сквозные отверстия диаметром 100...150 мм растачивают резцами с углом в плане $\phi < 90^\circ$ (рис. 2.30, а). При расточке глухих и ступенчатых отверстий используют резцы с углом в плане $\phi = 90^\circ$. Уступы в отверстиях подрезаются как с продольной подачей, так

Таблица 2.3

Последовательность обработки отверстий квалитетов Н7, Н9, Н11

Диаметр отверстия, мм	Заготовка под отверстие	Квалитеты		
		Н7	Н9	Н11
До 10	Сплошной материал	Сверление, развертывание черновое, развертывание чистовое	Сверление, развертывание	Сверление
	Сплошной материал	Сверление, зенкерование, развертывание чистовое	Сверление, зенкерование, развертывание	Сверление, зенкерование
	Отлитое или прошитое отверстие с припуском до 4 мм на диаметр	Зенкерование, развертывание черновое, развертывание чистовое	Зенкерование, развертывание	Зенкерование
	Отлитое или прошитое отверстие с припуском свыше 4 мм на диаметр	Зенкерование черновое, зенкерование получистовое, развертывание черновое, развертывание чистовое	Зенкерование черновое, зенкерование получистовое, развертывание	Зенкерование черновое, зенкерование чистовое
10...30	Сплошной материал	Сверление, рассверливание, зенкерование, развертывание черновое, развертывание чистовое	Сверление, рассверливание, зенкерование, развертывание	Сверление, рассверливание, зенкерование
30...100	Отлитое или прошитое отверстие с припуском 6 мм на диаметр	Зенкерование, развертывание черновое, развертывание чистовое	Зенкерование, развертывание	Зенкерование

и с поперечной (рис. 2.30, б, в, г). Отверстия большого диаметра и глубиной более 100 мм растачивают резцами, закрепленными в жестких державках (рис. 2.30, д, е).

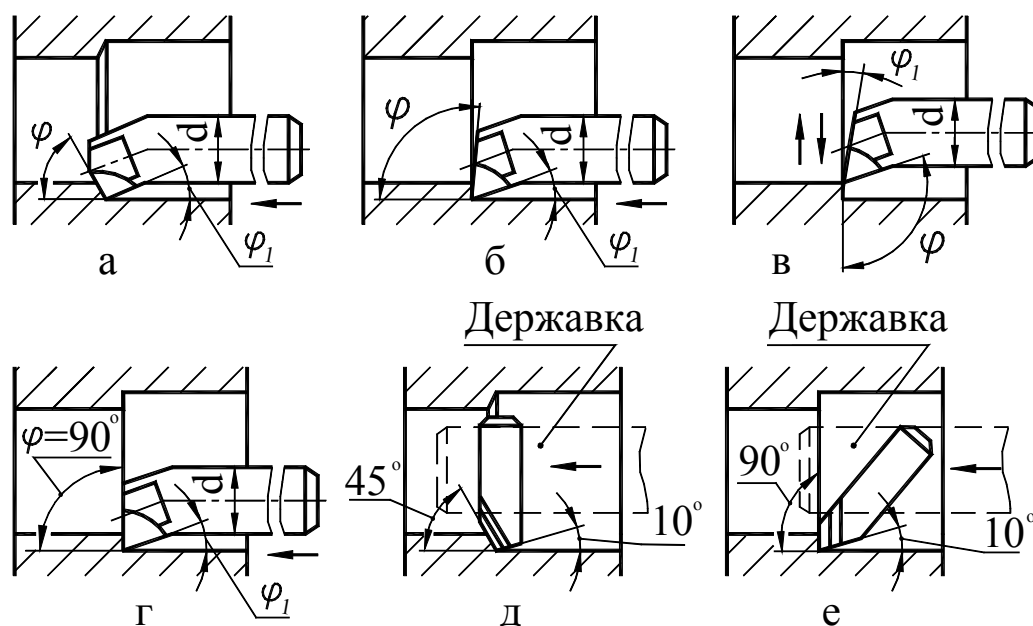


Рис. 2.30. Обработка отверстий расточными резцами [22]

Точность и шероховатость отверстий, получаемых на токарных станках, представлена в табл. 2.4.

На фрезерных станках иногда получают отверстия сверлением с тем, чтобы исключить дополнительную (сверлильную) операцию. Необходимо учитывать, что шпиндель фрезерного станка в осевом направлении менее жесткий, чем шпиндель сверлильного станка. На фрезерных станках с ЧПУ при небольших толщинах заготовки часто применяется расфрезеровывание отверстия до необходимого большего ($L / d_{фр} \leq 1 \dots 1,5$). Для уменьшения номенклатуры используемого инструмента, сокращения времени на смену инструмента при расфрезеровывании сквозного отверстия двухперую фрезу затачивают как сверло. А затем сверлят отверстие этим инструментом и им же расфрезеровывают отверстие до необходимого большего диаметра. Точность полученного отверстия ниже, чем достигается на токарной и координатно-расточной операциях.

Протягивание отверстий в мелкосерийном производстве встречается довольно редко, так как необходимо специальное оборудование и дорогостоящий инструмент.

На координатно-расточных станках производится растачивание отверстий с целью получить точное межцентровое расстояние (с до-

Таблица 2.4

Точность и шероховатость обработки на токарных станках

Вид обработки	Квалитет	Параметр шероховатости Ra, мкм
Сверление	12...11	12,5...3,2
Зенкерование: черновое, получистовое, чистовое	12...11 11 9...8	До 12,5 6,3...3,2 2,5...1,25
Развертывание: получистовое, чистовое, тонкое	9...8 7...6 6	2,5...1,25 1,25...0,63 до 0,32
Растачивание: черновое, получистовое, чистовое, тонкое	13...12 11...10 9...7 6	До 12,5 6,3...3,2 2,5...0,8 0,32...0,16
Доводка (притирка)	6...5	0,16...0,02
Раскатывание	7	0,63...0,05

пуском $\pm 0,05 \dots \pm 0,02$ мм), минимальное отклонение оси отверстий и минимальное отклонение от круглости. При небольшом количестве отверстий сверление производят на этом же станке.

2.6.2. Шлифование внутренних поверхностей

Внутреннее шлифование применяют для окончательной обработки отверстий в труднообрабатываемых или закаленных заготовках, или в тех случаях, когда невозможно применить другие, более производительные методы обработки.

Шлифование внутренних поверхностей производится на внутришлифовальных станках.

Отверстия обрабатывают напроход (рис. 2.31, а, б) и методом врезания (рис. 2.31, в, г).

Внутренне шлифование имеет свои технологические особенности. При шлифовании отверстий наружный диаметр круга всегда должен быть меньше диаметра шлифуемого отверстия. Диаметр шлифовального

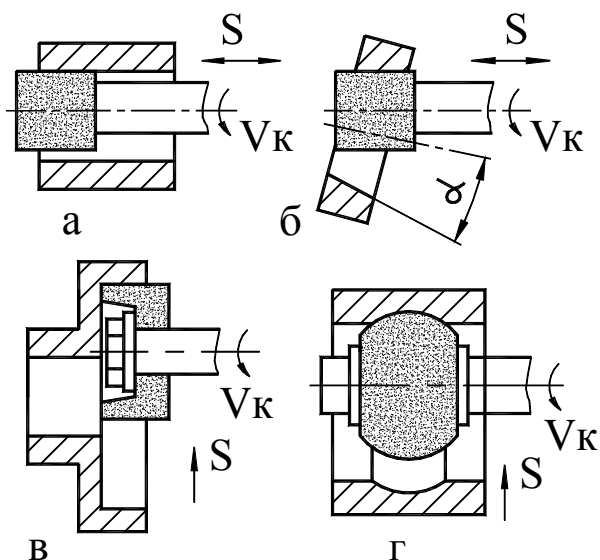


Рис. 2.31. Схемы шлифования внутренних поверхностей: а – продольное сквозных отверстий; б – продольное конических отверстий; в – врезное с обработкой торца; г – врезное фасонное

дующим образом:

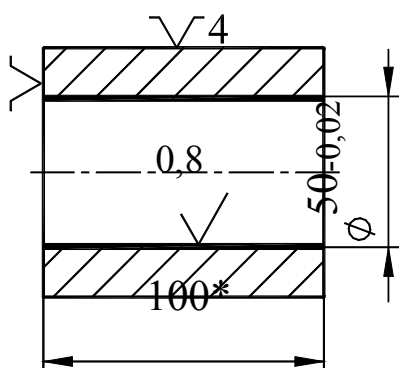


Рис. 2.32. Эскиз внутришлифовальной операции

15 1 040 4132 Внутришлифовальная
Станок внутришлифовальный точно-
сти «В»

А. Установить заготовку в расточен-
ных кулачках

1. Шлифовать внутренний диаметр
 $\varnothing 50_{-0,02}$ мм

Круг шлифовальный ПП60x20x40 91А
25П СМ1 7 К5 35м/с А 1кл; Нутромер

круга принимают равным 0,8...0,9 диаметра отверстия. Высоту круга принимают в зависимости от длины обрабатываемой поверхности.

Припуски на шлифование отверстий зависят от диаметра отверстия и его длины и рекомендуются 0,07...0,25 мм для диаметра до 30 мм; 0,18...0,75 мм для диаметра до 250 мм. Наиболее предпочтительным методом является шлифование напроход с продольным движением подачи.

Запись в технологической документации внутришлифовальной операции (рис. 2.32) производится сле-

2.6.3 Методы получения глубоких отверстий

Для сверления применяют стандартные и специальные спиральные сверла из быстрорежущей стали и с вставками из твердого сплава, эжекторные сверла и сверла одностороннего резания (ружейные) с рабочей частью из твердого сплава.

Сверление отверстий с $L/d > 10$ стандартными спиральными сверлами вызывает определенные трудности: ухудшается отвод стружки, отмечается значительное отклонение от оси (увод), что часто приводит к поломке инструмента.

Шнековые сверла используют при $L \leq 20d$. Для сверления стандартными и шнековыми сверлами используют вертикально-сверлильные и токарные станки. Для сверления эжекторными и сверлами одностороннего резания используется специальное оборудование или переоснащенное типовое (токарные и сверлильные станки). Для получения отверстий более высокого качества отверстия зенкеруют, развертывают, дорнуют. Однако увод сверла, полученный после сверления, не исправляется.

Получение глубоких отверстий малого диаметра. Для получения глубоких отверстий малого диаметра ($d = 1 \dots 5$ мм, $L/d = 10 \dots 100$) в деталях из различных сталей и сплавов в основном используют сверление, электрохимическое и электроэрозионное прошивание.

Для сверления применяют стандартные и специальные спиральные сверла из быстрорежущей стали и сверла одностороннего резания с внутренним подводом СОЖ (ружейные сверла) с рабочей частью из твердого сплава.

Стандартные спиральные сверла используют при $L \leq 20d$. Сверление отверстий производят на токарных и вертикально-сверлильных станках, причем часто с ручной подачей инструмента. Так как для эвакуации стружки из зоны резания, смазки и охлаждения инструмента необходимо его периодический вывод из отверстия, то производительность обработки оказывается очень низкой. Она может быть существенно (до 2,5 раз) увеличена при использовании специализированных станков с автоматизированным циклом сверления или станков с ЧПУ. Точность диаметра отверстий при сверлении спиральными сверлами соответствует 12...13 квалитетам, а шероховатость поверхности – $R_a = 6,3 \dots 15$ мкм. Для уменьшения увода оси отверстия целесообразно его обработку осуществлять при встречном вращении детали и инструмента или только при вращении детали. Другим путем уменьшения увода является сверление с периодическим увеличением вылета инструмента.

Шнековые сверла ($d \geq 3$ мм) дают возможность, по сравнению со стандартными спиральными сверлами, значительно увеличить глубину сверления без вывода сверла из отверстия. Точность и шероховатость поверхности отверстия оказываются примерно такими же, как и при сверлении стандартными спиральными сверлами.

Еще более эффективны твердосплавные сверла одностороннего резания с внутренним подводом СОЖ, которые в отечественной про-

мышленности применяют для сверления отверстий с $d \geq 2$ мм (за рубезом от 1,2 мм) и глубиной до $100d$.

Твердосплавные сверла одностороннего резания обеспечивают повышение производительности обработки в 2...3 раза по сравнению с обработкой спиральными сверлами. Точность диаметра отверстий при сверлении сверлами одностороннего резания соответствует 7...11 квалитетам, а шероховатость поверхности – $R_a \leq 2,5$ мкм. Важным достоинством сверл одностороннего резания является и то, что они обеспечивают наименьший увод оси отверстия (до 0,1 мм) и отклонение ее от прямолинейности (около 0,01 мм на 200 мм глубины).

Для получения глубоких отверстий ($d=1...2$ мм, $L \leq 200$ мм) в труднообрабатываемых сталях и сплавах применяют электрохимическое прошивание. В качестве электродов–инструментов используют калиброванные латунные трубки с толщиной стенок 0,1...0,2 мм. Точность диаметра отверстий соответствует 12 квалитету, увод оси отверстия не превышает 0,12 мм на каждые 100 мм глубины. Недостаток метода электрохимического прошивания – растравливание некоторых металлов и сплавов по границам зерен, глубина которого может достигать 20...30 мкм.

Достаточно широкое применение для получения глубоких отверстий малого диаметра находит электроэрозионное прошивание. С помощью этого метода можно, в частности, прошивать отверстия с $d \geq 1$ мм и глубиной до $100d$ и более. Точность диаметра прошеного отверстия примерно соответствует 12...14 квалитетам, шероховатость поверхности – $R_a=3,2...5$ мкм. Рабочие подачи при обработке отверстий диаметром 1...3 мм в незакаленных сталях составляют 5...20 мм/мин, а износ инструмента по длине находится в пределах 50-80% от глубины прошеного отверстия. Недостатком электроэрозионного прошивания отверстий является возможность образования в поверхностном слое микротрещин и растягивающих остаточных напряжений.

Отдельные методы электроэрозионно-химического прошивания позволяют обрабатывать заготовки с большой скоростью (до 300 м/мин) с величиной шероховатости поверхности $R_a=0,63...1,25$ мкм.

В ряде случаев к качеству поверхностного слоя и точности глубоких отверстий малого диаметра предъявляются высокие требования (JT6...JT8, $R_a \leq 1,25$ мкм), обеспечение которых непосредственно с помощью рассмотренных методов обработки оказывается затруднительным. Возникает необходимость отделочной обработки отверстий, в качестве которой (при твердости заготовок до HRC₃45) представляется целесообразным использовать дорнование.

Дорнование [17]

Процесс дорнования (деформирующего протягивания, прошивания) состоит в холодном пластическом деформировании заготовки при поступательном перемещении через отверстие с некоторым натягом специального инструмента. При этом происходит повышение точности отверстий до 6...7 квалитета, интенсивное сглаживание микронеровностей $Ra = 0,1...0,05$ мкм и упрочнение поверхностного слоя (приращение микротвердости составляет 130...260%); после дорнования на оптимальном режиме в поверхностном слое формируются сжимающие остаточные напряжения.

В качестве инструмента при дорновании глубоких отверстий с

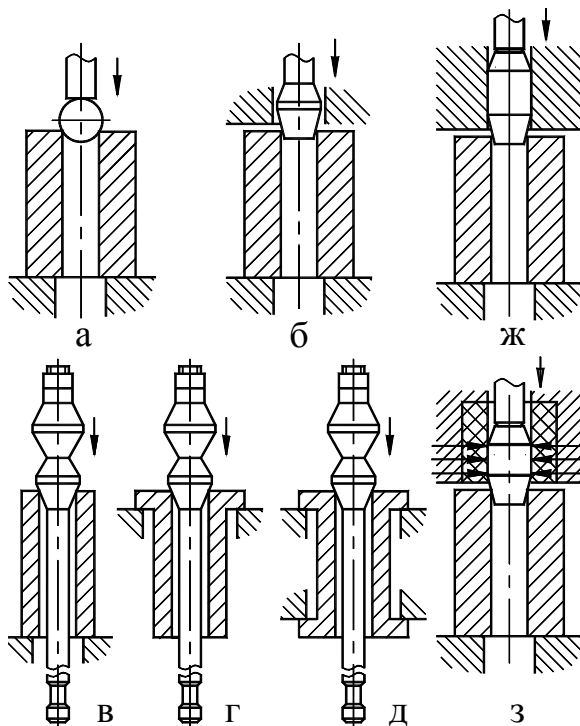


Рис. 2.33. Схемы дорнования отверстий: а – шаром; б – консольно закрепленной однозубой прошивкой; в – многозубой протяжкой со сжатием заготовки; г – многозубой протяжкой с растяжением заготовки; д – многозубой протяжкой с осевым заневоливанием заготовки; ж – однозубой незакрепленной в осевом направлении прошивкой, размещенной с зазором в направляющей втулке; з – однозубой незакрепленной в осевом направлении прошивкой, размещенной с натягом в направляющей втулке

$d \geq 30$ мм используются протяжки; в зависимости от глубины отверстия и жесткости заготовок обработку осуществляют с их сжатием (рис. 2.33, в), растяжением (рис. 2.33, г) или осевым заневоливанием (рис. 2.33, д). Инструмент изготавливается с высокой точностью: отклонение от круглости цилиндрических ленточек не более 0,002 мм, шероховатость рабочих поверхностей $Ra \leq 0,04$ мкм. Важное влияние на процесс дорнования оказывает применяемый смазочный материал, устраняющий схватывание инструмента с заготовкой и обеспечивающий снижение деформирующего усилия, повышение точности и качества поверхности. При дорновании глубоких отверстий малого диаметра (1...5 мм) применение протяжек становится невозможным из-за их низкой прочности. Здесь в качестве инструмента могут быть использованы шары или прошивки (рис. 2.33, а, ж, з), которые проталкиваются через обрабатываемую

мое отверстие цилиндрическим стержнем-толкателем.

Шары, особенно твердосплавные, как инструменты, обладают несомненными достоинствами, к которым относятся высокая прочность, стойкость и точность. Однако для их изготовления необходимо специальное оборудование.

Прошивки лишены отмеченных недостатков. Но при эксплуатации, особенно твердосплавных прошивок, необходимо избегать появления изгибающих нагрузок, которые могут возникнуть при входе инструмента в обрабатываемое отверстие. Для этого прошивку целесообразно размещать в направляющей втулке либо с малым зазором (рис. 2.33, ж), либо с натягом (рис. 2.33, з). В последнем случае направляющая втулка выполняется из эластичного антифрикционного материала, например, фторопласта.

Для дорнования глубоких отверстий прошивками (шарами) используют специальные станки и различные прессы, которые оснащают специальными приспособлениями. При небольших партиях заготовок дорнование выполняют на сверлильных или фрезерных станках.

В качестве инструмента при дорновании используют стальные и твердосплавные шары, однозубые и многозубые прошивки и протяжки (рис. 2.33). Рабочая часть зубьев прошивок и протяжек в большинстве случаев оформляется в виде двух усеченных конусов, соединенных цилиндрической ленточкой 0,1...3 мм. Для изготовления прошивок и протяжек практически всегда целесообразно применение твердых сплавов, группы ВК, обеспечивающих высокую стойкость инструментов и устраняющих в подавляющем большинстве случаев схватывание обрабатываемого и инструментального материалов.

Результаты исследования точности и шероховатости поверхности отверстий глубиной 100 мм после сверления и дорнования отверстий приведены в табл. 2.5. Как видно из таблицы, дорнование позволяет резко уменьшить высоту микронеровностей, а также обеспечить высокую точность диаметра отверстий – она повышается с 11...12 до 7 качества.

Вместе с тем необходимо отметить, что возникающие при сверлении спиральным сверлом грубая и нерегулярная шероховатость поверхности, большие отклонения от круглости отверстий (табл. 2.5), отрицательно сказываются на шероховатости и отклонениях от круглости отверстий после дорнования.

Так, после сверления отклонения от круглости отверстий достигают 40 мкм, а после дорнования – 7 мкм и составляют большую часть погрешности диаметра отверстия. Поэтому для обеспечения в процессе дорнования более высокой точности и меньшей шероховатости поверх-

Таблица 2.5

Отклонение от круглости и шероховатость при дорновании [17]

Материал заготовок	Операции	Диаметр отверстия, мм	Отклонение от круглости, мкм	Параметры шероховатости, мкм	
				R _a	R _{max}
Сталь 20X	Сверление	2,03...2,12	4,8...21,0	3,4...11,5	28,9...71
	Дорнование (4 прошивки*)	2,158...2,17	1,0...7,0	0,1...0,52	1,7...11,3
Сталь 40X	Сверление	2,02...2,07	15,0...40,0	0,54...2,5	3,3...27,0
	Дорнование (3 прошивки)	2,138...2,14	1,6...5,0	0,14...1,0	3,0...6,3

*Примечание: диаметр первой, второй, третьей и четвертой прошивок, соответственно 2,09; 2,14; 2,16 и 2,18 мм

ности отверстий представляется целесообразным их сверление выполнять твердосплавными сверлами одностороннего резания с внутренним подводом СОЖ.

Увод осей отверстий (рис. 2.34), который после сверления на радиально-сверлильном станке составлял 1,3...2,1 мм, а после сверления на токарно-винторезном станке – 0,2...0,05 мм, в процессе дорнования, вследствие самоустанавливаемости прошивок, не изменяется. Незменными при дорновании остаются и отклонения осей отверстий от прямолинейности. Как показали измерения, эти отклонения у отверстий, полученных соответственно на радиально-сверлильном и токарно-винторезном станках, не превышают 0,2 и 0,05 мм.

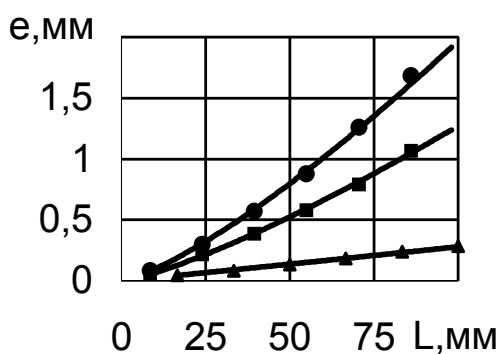


Рис. 2.34. Увод осей отверстий в заготовках из стали 20X в зависимости от их глубины [17]: ■, ● - сверление на радиально-сверлильном станке; ▲ – сверление на токарно-винторезном станке

Параметры отверстия после дорнования измеряются специальным инструментом. Диаметр отверстия измеряется нутромером с ценой деления 0,002 мм, отклонение от

круглости отверстий – кругломером. Шероховатость поверхности отверстий (свидетелей) измеряют на профилографе-профилометре после разрезки заготовок, а наклеп поверхностного слоя – с помощью прибора ПМТ – 3 при нагрузке на пирамиду 2Н.

2.7. Методы обработки резьбовых поверхностей

В машиностроении наибольшее распространение получили цилиндрические с прямоугольным, треугольным и трапецидальным профилем и конические резьбы с треугольным профилем. Для получения резьб используется следующее оборудование: специальное – резьбонарезные и резьбофрезерные станки и автоматы, гайконарезные автоматы, резьбонакатные, резьбошлифовальные и универсальное – токарные, сверлильные, токарно-револьверные и другие станки.

Основные способы формообразования резьбовых поверхностей с указанием точности и шероховатости представлены на рис. 2.35.

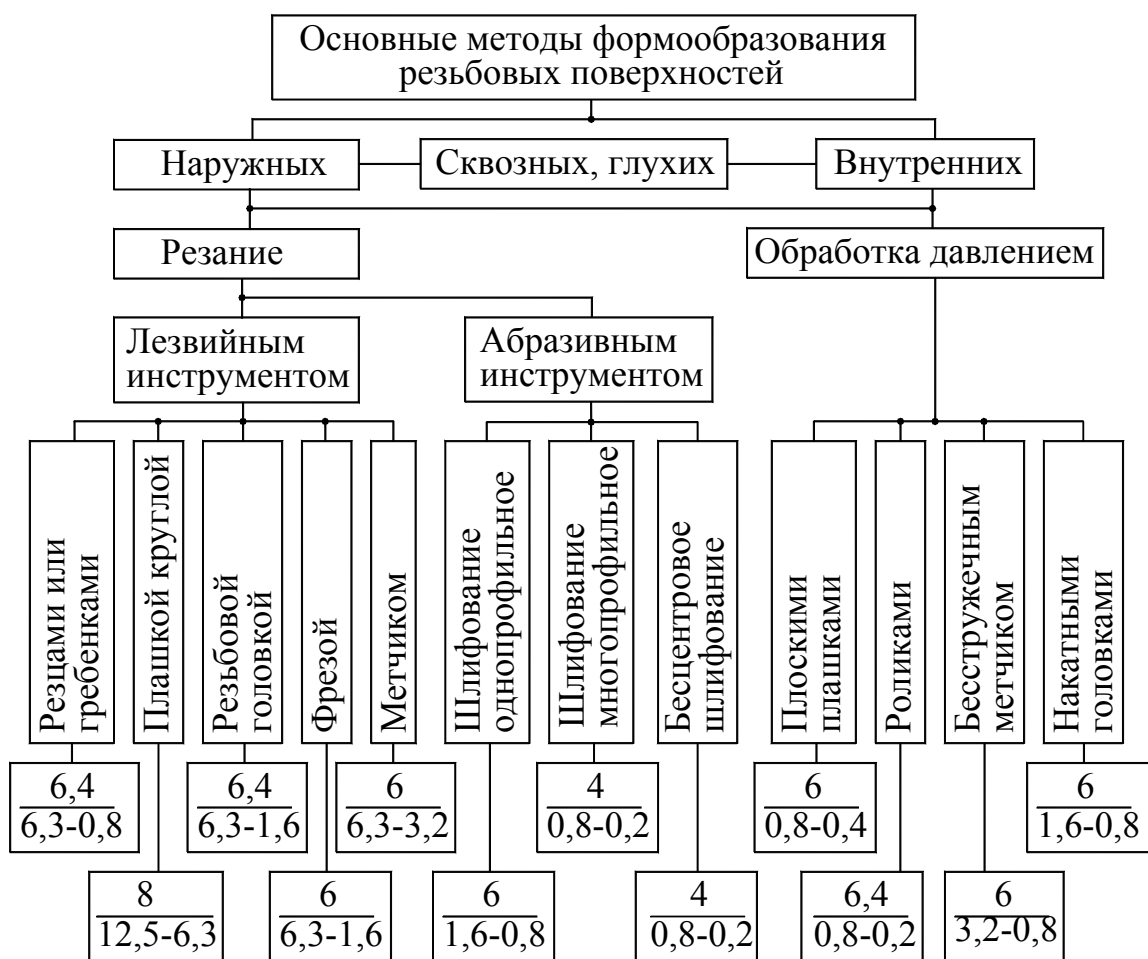


Рис. 2.35. Классификация основных методов формообразования резьбы [35]: цифры в числителе означают степени точности резьбы; в знаменателе – параметр шероховатости Ra, мкм

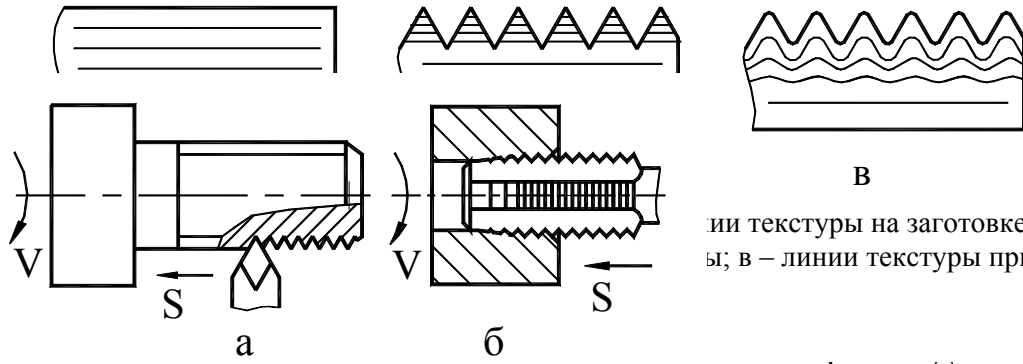


Рис. 2.36. Нарезание резьбы: а – резцом; б – метчиком

резь-
эцом
шкой
раз-
вание
етчи-
всех

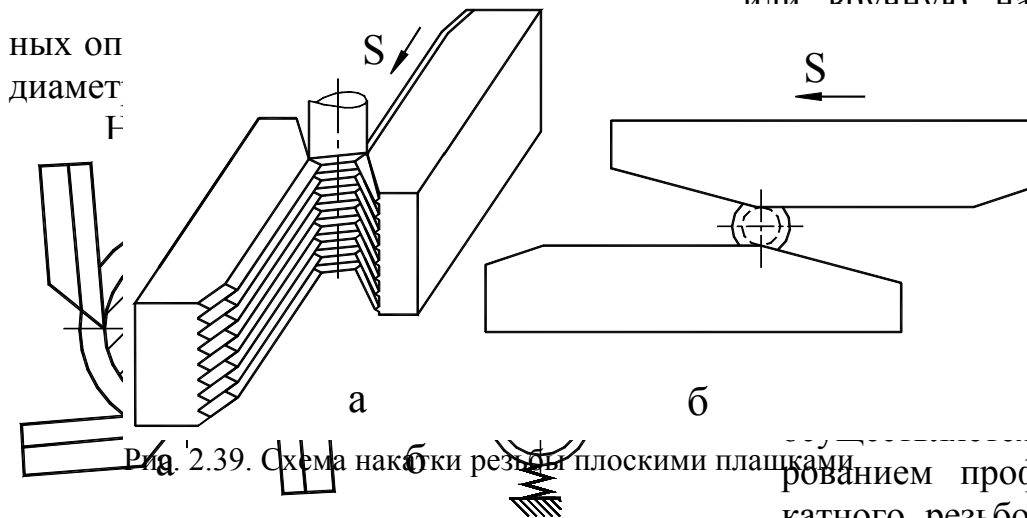


Рис. 2.39. Схема накатки резьбы плоскими плашками

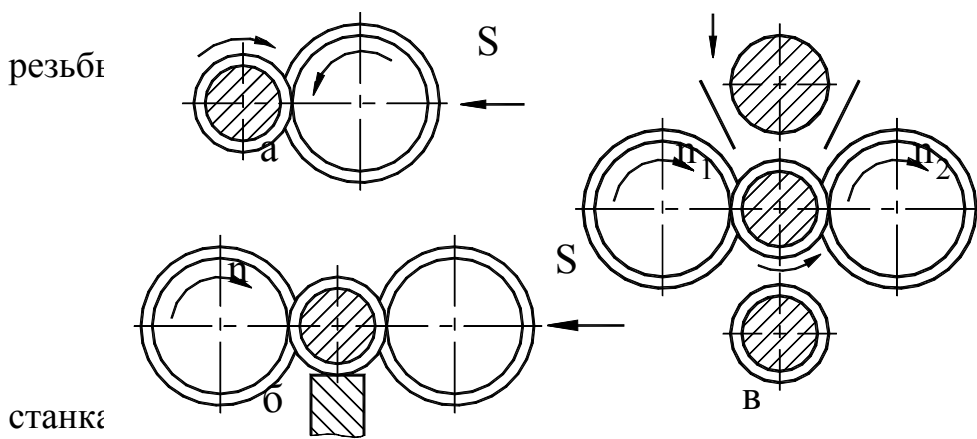
Рис. 2.37. Схемы нарезания резьбы резьбонарезными головками: а – с плоскими гребенками; б – с круглыми гребенками

видах токарных станков,
на сверлильных станках
или вручную на слесарь-
больших

произ-
затыва-
ы

резьбы

копи-
рованием профиля на-
катного резьбового ин-
струмента путем пла-
стического деформи-
рования на заданном уча-



резьбы

Рис. 2.40. Схемы накатывания наружной резьбы роликами: а – с одним роликом; б – с двумя роликами; в – с двумя роликами на-
проход

Накатка

льности

ее каче-
екстуры

акатных
ли: пло-

станка

скими

на хол-

точени

ливают
льного
накат-

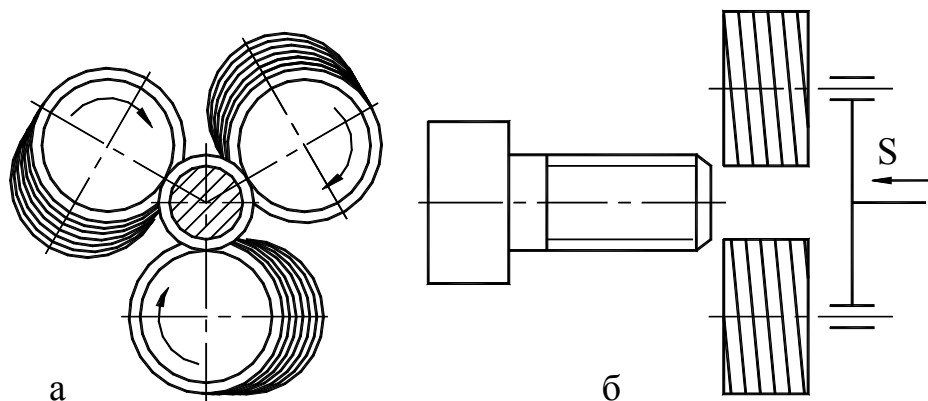


Рис. 2.41. Схема накатки наружной резьбы резьбонакатными головками

ными головками выполняется на автоматах фасонно-продольного точения (рис. 2.41).

2.7.3. Шлифование резьбы

Обработка резьб абразивным инструментом подразделяется на абразивное резьбонарезание и шлифование резьбы.

Абразивное резьбонарезание – способ получения профиля резьбы на наружной и внутренней поверхностях шлифованием (вышлифовыванием). Данный способ чаще всего применяется для получения мелких резьб.

Шлифование резьбы производится по боковым сторонам и впадине предварительно полученных резьб резьбонарезанием, резьбонакатыванием и т.п.

Абразивное резьбонарезание и резьбошлифование можно производить [1]:

- односторонним шлифовальным кругом в одну сторону, т.е. при прямом ходе стола с заготовкой (рис. 2.42, а); этот способ наиболее точный, но малопродуктивный;
- односторонним шлифовальным кругом в обе стороны, т.е. при прямом и обратном ходе стола с заготовкой; такой способ более производительный, чем первый, его применяют в мелкосерийном производстве;
- врезное (рис. 2.42, в) и осциллирующее (рис. 2.42, б) шлифование многосторонними шлифовальными кругами; способ применяют в крупносерийном и массовом производстве.

Применение того или иного метода определяется конструкцией изделия, требованиями точности, величиной партии изготовления, наличием оборудования. Для сравнения производительности даны несколько методов изготовления резьб (табл. 2.6).

Таблица 2.6

Сравнительная производительность различных методов получения наружной резьбы [11]

Метод изготовления резьбы	Производительность, шт/мин
Накатывание непрерывное	24...30
Накатывание плоскими плашками	8...10
Накатывание двумя роликами	3...3,5
Нарезание самооткрывающейся резьбовой головкой	1,0
Нарезание круглой плашкой	0,4
Фрезерование	0,25
Шлифование	0,025

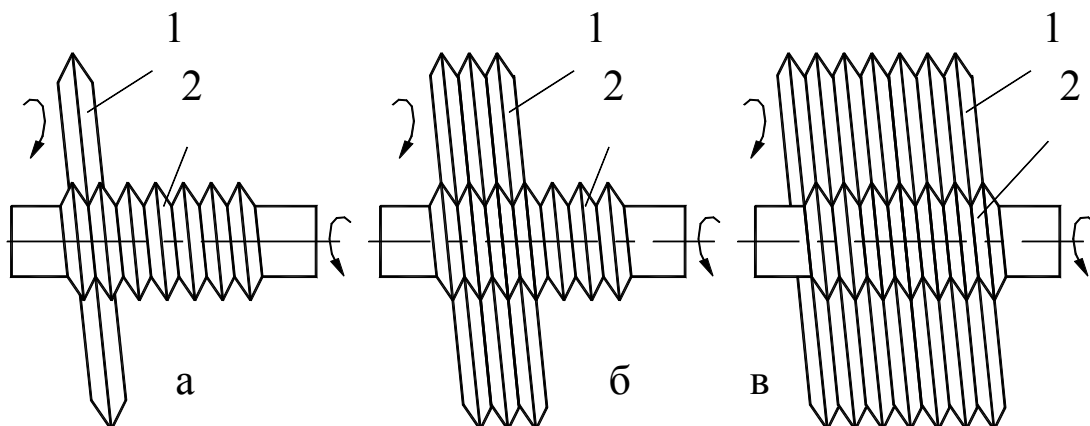


Рис. 2.42. Шлифование резьбы: а – односторонним кругом; б – многосторонним кругом; в – врезное многосторонним кругом; 1 – инструмент; 2 – обрабатываемая заготовка

2.8. Обработка плоскостей

Обработку плоских поверхностей можно производить различными методами на различном оборудовании (рис.2.43). Лезвийным инструментом плоские поверхности получают на фрезерных, строгальных, токарных, протяжных, долбежных, многоцелевых и др.; абразивным инструментом – на шлифовальных, доводочных, полировальных. Плоские поверхности небольших габаритов получают на электроэрозионных станках.

Наибольшее распространение при обработке плоских поверхностей в мелкосерийном производстве получили фрезерование, строгание, протягивание, шлифование.

Методы обработки, достигаемая ими точность и шероховатость обработанных поверхностей показаны на рис. 2.44.

2.8.1. Фрезерование

Фрезерование является в настоящее время наиболее распространенным методом обработки плоских поверхностей (рис. 2.45). Фрезерование выполняется на фрезерных станках. Фрезерные станки подразделяются на универсально-фрезерные, вертикально-фрезерные, горизонтально-фрезерные, продольно-фрезерные, карусельно-фрезерные и многоцелевые. Режущий инструмент – фреза. Для фрезерования плоскостей применяют фрезы: торцовые, цилиндрические, концевые.

Существуют следующие основные виды фрезерования: цилиндрическое (рис. 2.45, а), торцовое (рис. 2.45, ж), двустороннее (рис. 2.45, п), трехстороннее (рис. 2.45, р).

Фрезерование является прерывистым процессом. Поэтому, при конструировании инструмента и технологическими приемами при резании, решается задача обеспечения плавности работы фрезы. Наиболее

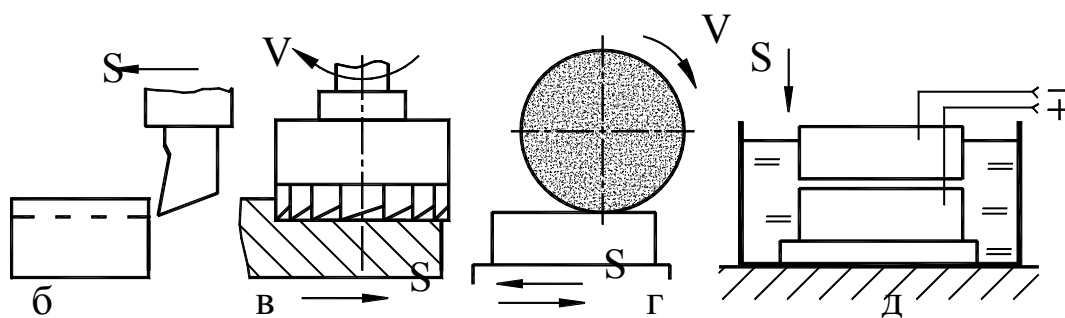


Рис. 2.43. Основные методы получения плоских поверхностей: а – точение; б – строгание; в – фрезерование; г – шлифование; д – электроэрозионная обработка

производительным является торцовое фрезерование за счет жесткой схемы крепления инструмента и участия в работе большого количества режущих кромок. При обработке крупногабаритных заготовок применяют фрезерные головки (торцовые фрезы со вставными ножами) диаметром 300...700 мм.

Различают черновое, чистовое и тонкое фрезерование. Для снижения основного времени внедряют силовое и скоростное фрезерование. Силовое фрезерование применяют при черновой обработке. Скоростное фрезерование применяют для чистовой, а при очень большой скорости резания и на специальном оборудовании – для отделочной обработки. Широкое распространение получило фрезерование концевыми фрезами при изготовлении деталей сложной пространственной формы: матриц, штампов, прессформ, лопаток турбин и др. При формировании переходов в операции пользуются соответствующей терминологией (рис. 2.46). При обработке плоскостей на металлорежущих станках можно задавать различные траектории (схемы) движения инструмента.

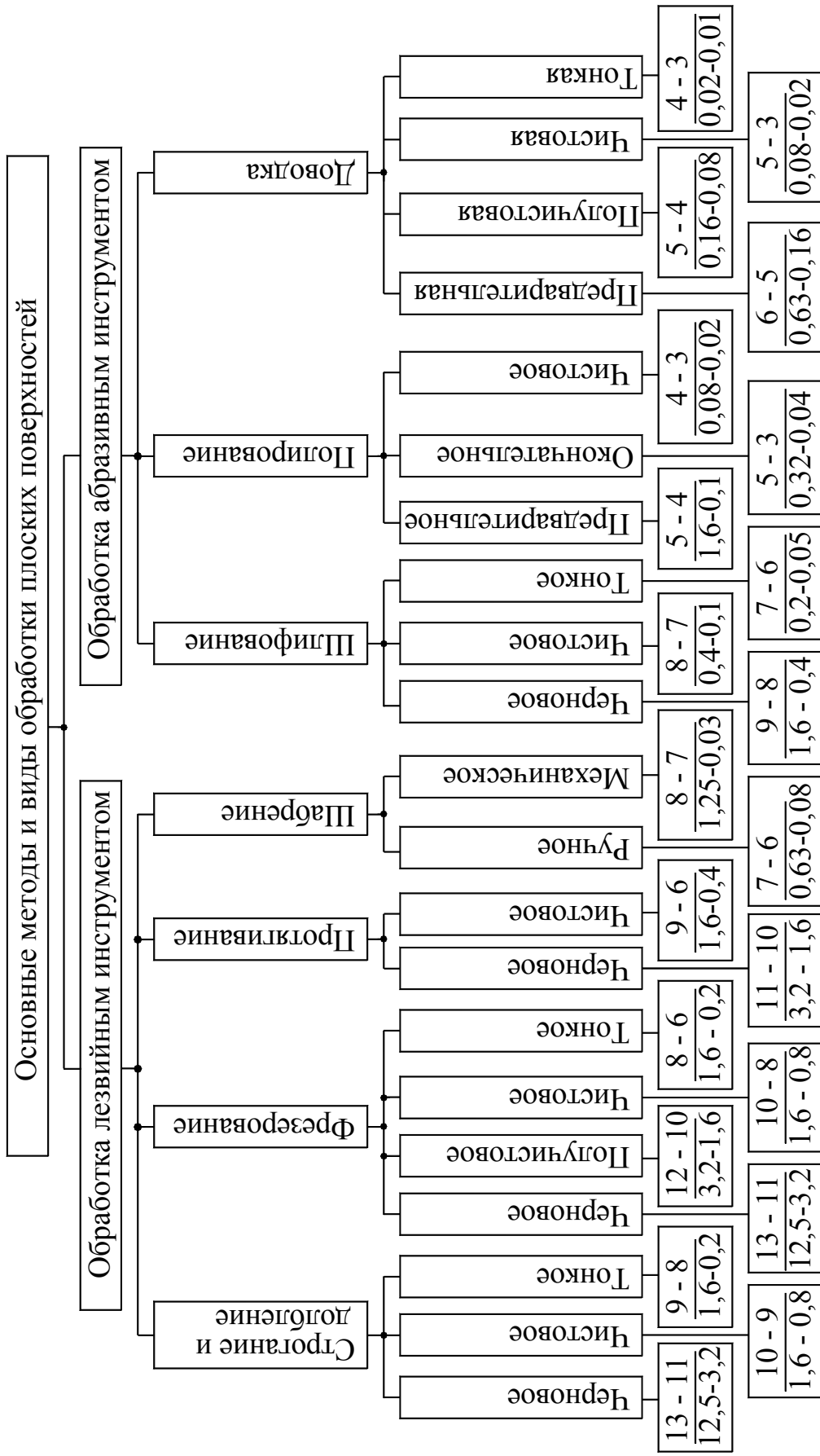


Рис. 2.44. Классификация основных методов обработки плоских поверхностей [35]: цифры в числителе означают достигаемые качества точности, в знаменателе - параметр шероховатости Ra, мкм

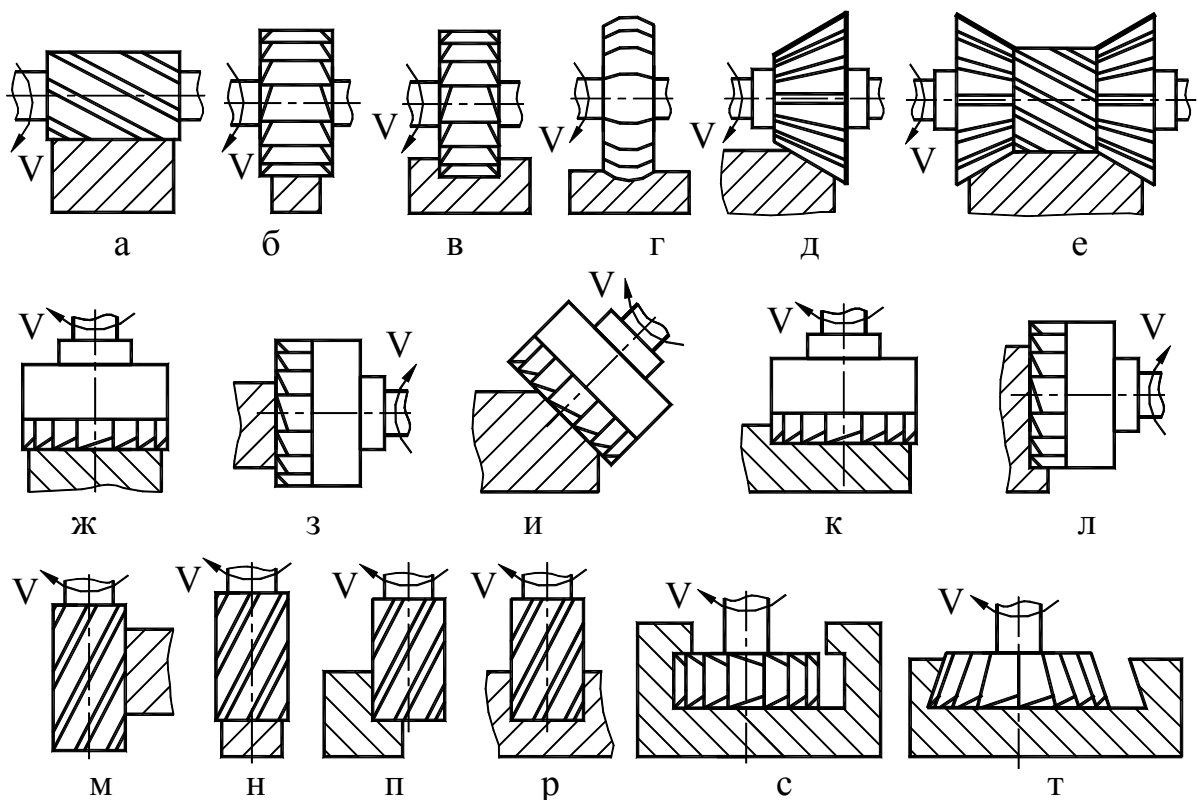


Рис. 2.45. Схемы фрезерования различных плоских поверхностей

На станках с ручным управлением применяют траектории движения инструмента типа «зигзаг» или «петля» (рис. 2.47, е и 2.47, ж). В основном применяется движение напроход. Применение других типов траекторий оказывается затруднительным.

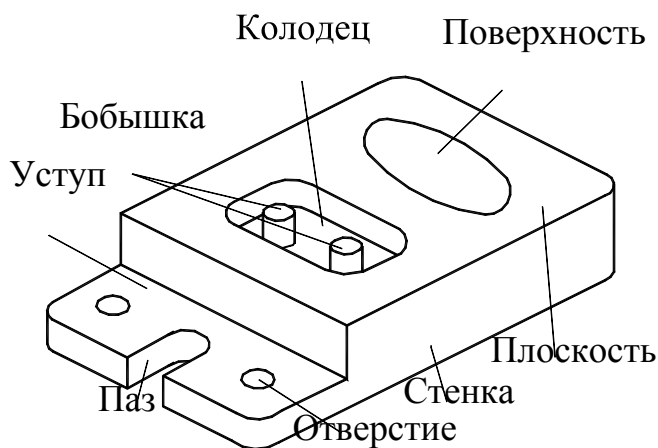


Рис. 2.46. Обозначение элементов поверхностей при фрезеровании

Внедрение станков с ЧПУ потребовало существенно изменить подход к построению траекторий движения инструмента. При разработке управляющих программ для станков с ЧПУ можно заранее рассчитывать и применять более сложные траектории движения инструмента, оптимальные по определенным критериям: минимальной шероховатости, минимальных остаточных напряжениях и др.

Появилась возможность рассчитывать и строить **эквидистанты** не

только для прямых линий, но и для дуг окружностей. CAD/CAM системы позволяют рассчитывать и более сложные траектории (рис. 2.47, з).

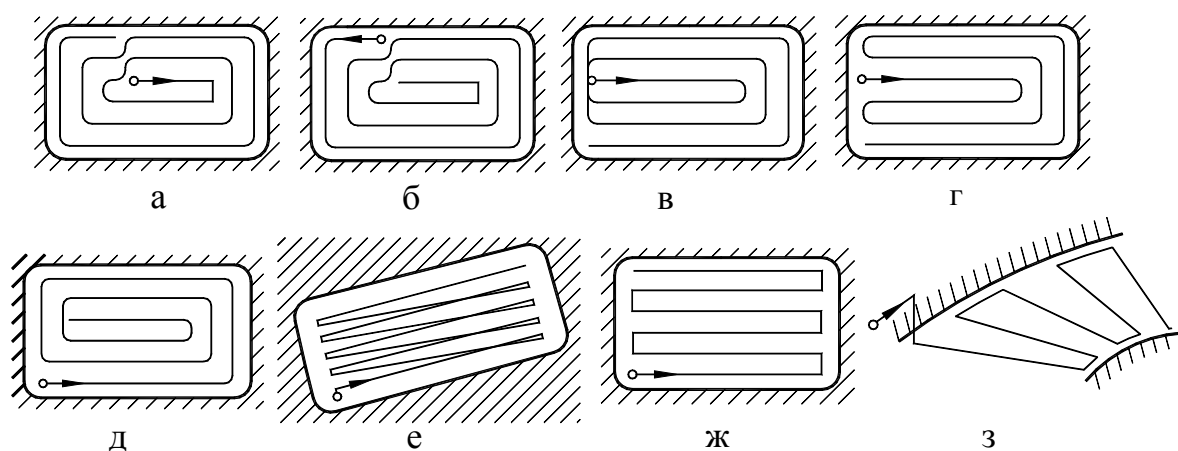


Рис. 2.47. Наиболее часто применяемые траектории движения инструмента: а – эквидистанта; б – обратная эквидистанта; в – петля эквидистантная; г – зигзаг эквидистантный; д – спираль; е – петля; ж – зигзаг; з – зигзаг контурный

Эквидистанта – прямая или кривая линия, равноотстоящая от контура детали (рис. 2.48). При фрезеровании по эквидистанте движется центр фрезы. Траектории движения инструмента по эквидистанте применяют для различных конструктивных элементов. В CAD/CAM системах реализуют все известные схемы фрезерования (рис. 2.47):

- **эквидистанта** – эквидистантная обработка от центра к границам обрабатываемого элемента;

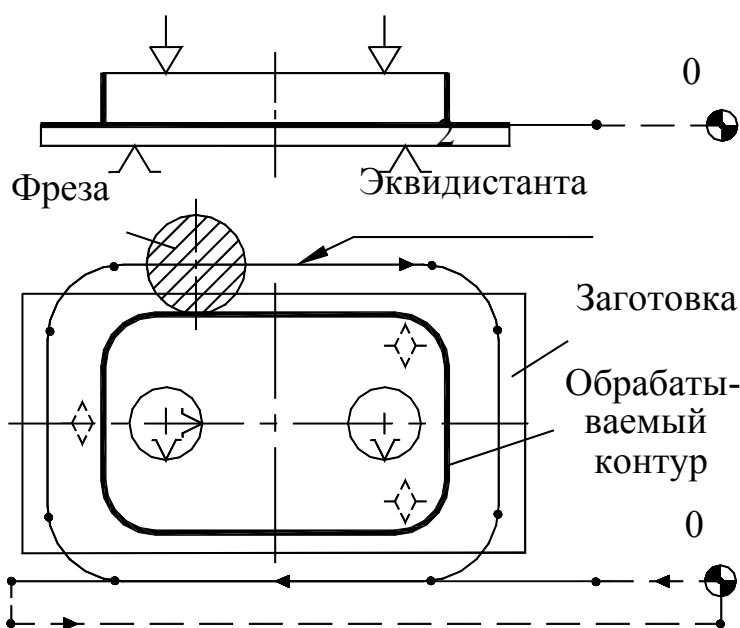


Рис. 2.48. Схема обработки детали по эквидистанте

- **обратная эквидистанта** – эквидистантная обработка от границ обрабатываемого элемента к центру. Обычно применяется для обработки плоскостей;
- **петля** – эквидистантная обработка по ленточной спирали с сохранением вы-

бранного (встречное или попутное) направления фрезерования; обычно применяется для обработки уступов;

- **зигзаг эквидистантный** – обработка по ленточной спирали с чередованием встречного и попутного направления фрезерования; обычно применяется для обработки уступов;
- **спираль** – обработка элемента по спирали; если наружным контуром является окружность, то траектория является спиралью Архимеда;
- **петля** – обработка в параллельных плоскостях с сохранением выбранного (встречное или попутное) направления фрезерования; направление обработки может меняться;
- **зигзаг** – обработка в параллельных плоскостях с чередованием встречного и попутного направления фрезерования; направление обработки может меняться;
- **зигзаг контурный** – обработка, с чередованием встречного и попутного

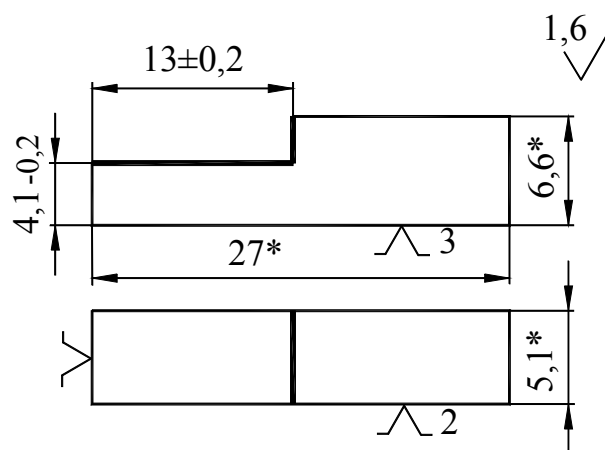


Рис. 2.49. Операционный эскиз обработки рычага

направления фрезерования; траектория формируется по кратчайшему расстоянию между двумя контурами.

Применение CAD/CAM систем в подготовке производства значительно расширяет технологические возможности фрезерования.

Запись в технологической документации фрезерной операции для обработки рычага (рис. 2.49) производится следующим образом:

11 1 030

362031 Фрезерная
Фрезерный станок точности "В"

А. Установить деталь в тисках
База: 2 стороны и плоскость

1. Фрезеровать заготовку в размеры по эскизу (рис 2.49)

Фреза концевая Ø10 2220-6078; Штангенциркуль

2.8.2. Стругание

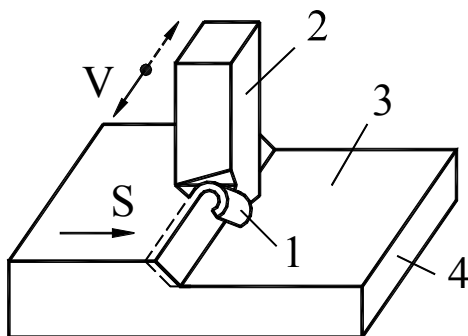


Рис. 2.50. Стругание заготовок:
1 – стружка; 2 – резец; 3 – обрабо-
танная плоскость; 4 – заготовка

Стругание (рис. 2.50) находит большое применение в мелкосерийном и единичном производстве благодаря тому, что для работы на строгальных станках не требуется сложных инструментов и приспособлений, как для работы на фрезерных станках.

Этот метод малопроизводителен, так как обработка выполняется однолезвийным инструментом, а наличие вспомогательных ходов увеличивает время обработки. Заготовки небольших габаритов обрабатываются

на поперечно-строгальных станках. Крупногабаритные заготовки обрабатываются на продольно-строгальных и фрезерно-строгальных станках. Точность и шероховатость поверхности будет зависеть от геометрии инструмента и условий резания, точно так же, как и при точении.

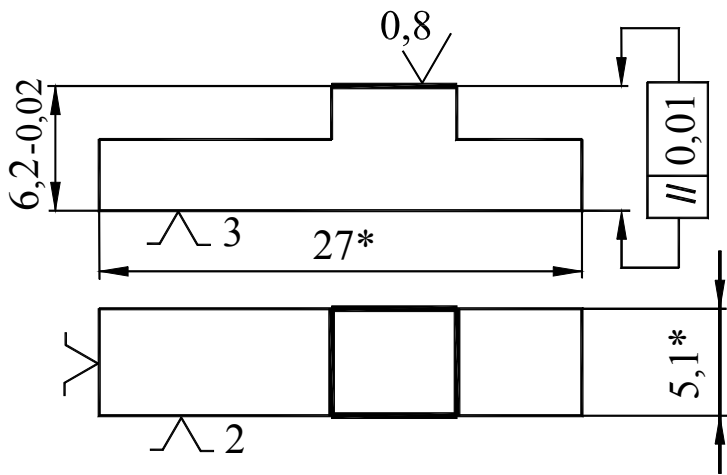
2.8.3. Плоское шлифование

Шлифование плоскостей производится на плоскошлифовальных станках с прямоугольным или круглым столом (рис. 2.51).

Плоское шлифование выполняют периферией или торцом шлифовального круга. При шлифовании периферией круга меньше сила резания и меньше нагрев заготовки, чем при шлифовании торцом круга.

При шлифовании торцом круга поперечные колебания шпинделя шлифовального круга в меньшей мере влияют на рельеф обрабатываемой поверхности в связи с чем при этом способе получают более высокую точность и низкую шероховатость [39].

Заготовки закрепляются с помощью приспособлений: электро-



магнитных столов, плит и магнитных блоков, плит и магнитных блоков, призм и угольников. Миниатюрные заготовки устанавливаются на электромагнитном столе между стальными пластинами и засыпаются магнитным порошком.

В последние годы наметилась тенденция в ряде случаев

Рис. 2.52. Эскиз плоскошлифовальной операции

заменять фрезерование глубинным шлифованием, по производительности

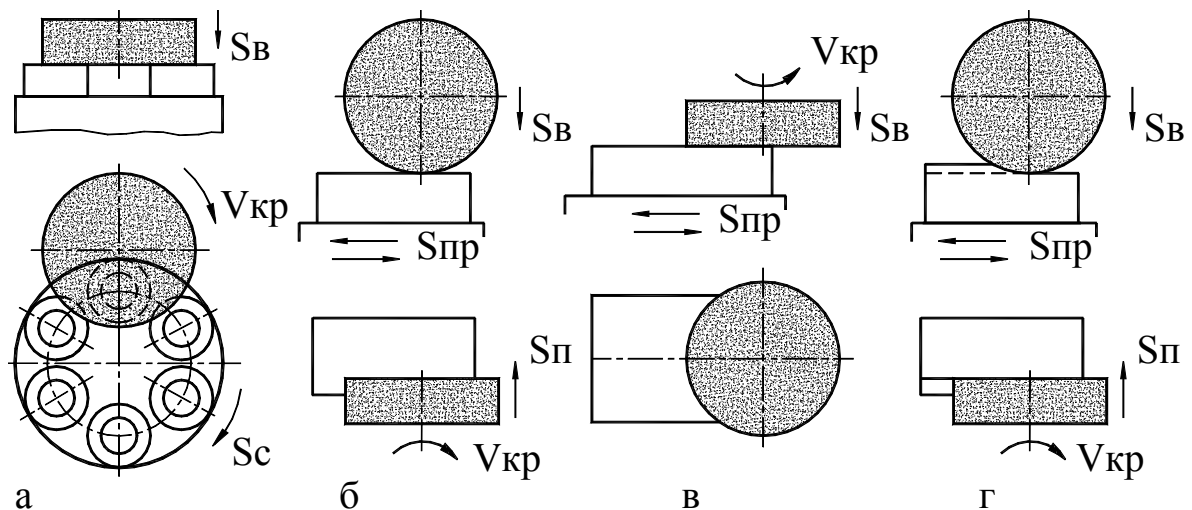


Рис. 2.51. Схемы плоского шлифования: а – торцом круга на станке с круглым столом; б – периферией круга; в – торцом круга; г – глубинное фрезерование; $V_{кр}$ – скорость вращения круга; $S_{пр}$ – продольная подача; $S_{п}$ – поперечная подача; S_c – подача стола; S_v – подача резания

сти приближающимся к фрезерованию.

В технологической документации шлифовальная операция обработки рычага (рис. 2.52) запишется следующим образом:

12 2 060

344032 *Плоскошлифовальная
Плоскошлифовальный станок точности "В"*

А. Установить деталь на магнитном столе между стальными пластинами

База: 2 стороны и плоскость

1. *Шлифовать заготовку в размеры по эскизу (рис 2.52)*

*Круг шлиф. ПП200х13х32 91 А40 СМ26 К8 35 м/с; Микр. 0...25;
Инд. МИГ ц.д. 0,001; Штангенрейсмас (стойка)*

2.9. Обработка зубьев зубчатых колес

Зубчатые колеса получают как обработкой резанием, так и методом пластической деформации (рис. 2.53). Для повышения точности зубчатых колес применяют различные отделочные операции. При образовании (делегирования) и об

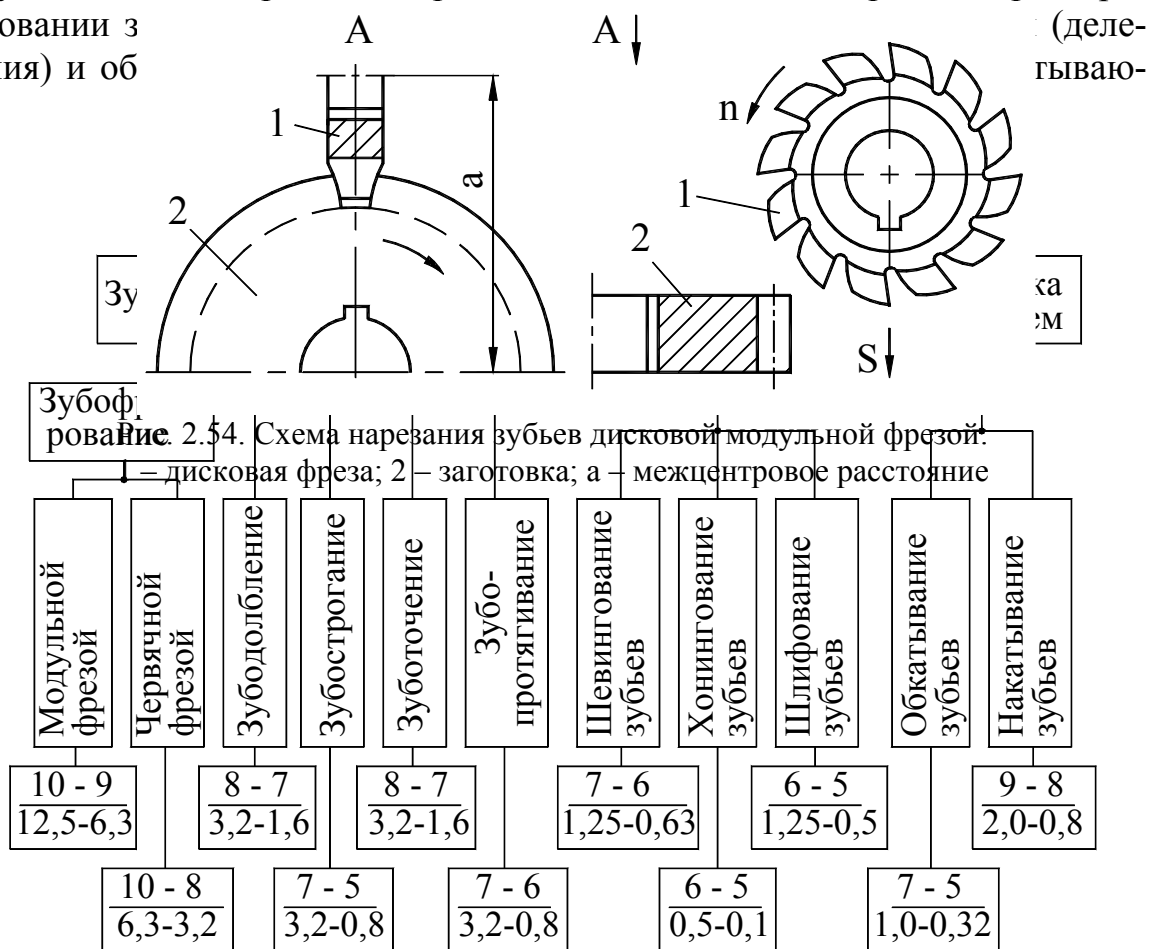


Рис. 2.53. Методы формообразования зубчатых цилиндрических колес: цифры в числителе означают степени точности зубчатых колес, в знаменателе – параметр шероховатости Ra, мкм

щих станках с использованием разного инструмента.

2.9.1. Метод копирования

В методе копирования используются инструменты: дисковые модульные фрезы, пальцевые модульные фрезы, зуборезные (зубодолбежные) головки, протяжки. Самым распространенным методом копирования является зубофрезерование. Обработку осуществляют модульной дисковой или концевой (пальцевой) фрезой. При получении зубьев с помощью дисковых модульных фрез режущая кромка фрезы тождественна впадине зубчатого колеса (рис. 2.54). Дисковые фрезы изготавливаются только с жестко связанными параметрами Z (число зубьев) и m

(модуль). Чем меньше число зубьев колеса Z , тем больше (шире) должна быть впадина. Следовательно, для каждого значения Z необходима

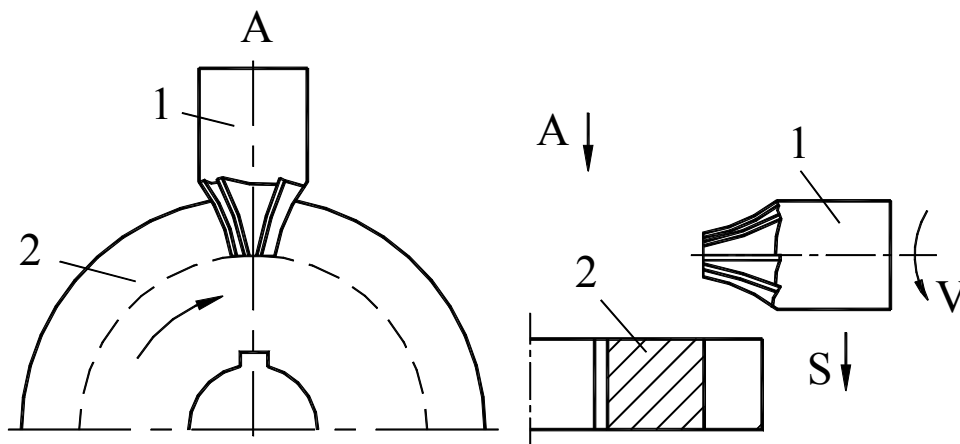


Рис. 2.55. Схема нарезания зубьев пальцевой модульной фрезой:
1 – пальцевая фреза; 2 – заготовка

отдельная фреза. Чтобы не изготавливать каждый раз новые фрезы, было принято делать **комплекты фрез**, рассчитанные на изготовление зубчатых колес в определенном диапазоне Z (табл. 2.7). Хотя в этом случае часть изделий будет иметь некоторые погрешности.

Таблица 2.7

Комплекты фрез с модулем до 8

Номер фрезы	Число зубьев нарезаемого колеса
1	12...13
2	14...16
3	17...20
4	21...25
5	26...34
6	35...54
7	55...134
8	135...∞

Наиболее существенные недостатки при этом способе нарезания колес:

- неравномерность деления при повороте колеса;
- необходимо очень точно выдерживать межцентровое расстояние a .

Дисковая модульная фреза применяется при черновой обработке. Степень точности колеса – 9, 10.

Обработка зубьев **пальцевой модульной фрезой** (рис. 2.55) производится также методом

деления. Профиль фрезы повторяет профиль впадины колеса. Инструмент является неточным и применяется только для черновой обработки в основном для нарезания колес с большим модулем (в том числе шевронных). Пальцевые модульные фрезы, как и дисковые изготавливаются наборами по номерам. Число зубьев всего 4...8 из-за необходимости заточивания, поэтому и малая производительность пальцевых фрез.

Дисковые и пальцевые фрезы применяют только для изготовления колес внешнего зацепления. Для изготовления колес внутреннего зацепления применяют протяжки или долбяки.

2.9.2. Метод обкатки

В методе обкатки применяются следующие инструменты:

1. Зуборезные (зубодолбежные) гребенки.
2. Долбяки.
3. Червячные зуборезные фрезы.

Суть принципа обкатки: заготовка крепится на станке и выполнена с точным диаметром выступов. При обработке заготовки рабочая подача гребенки кинематически сочетается с движением заготовки вокруг своей оси. Гребенка конструктивно выполнена в виде зубчатой рейки (рис. 2.56). Длина гребенки (рейки) обычно меньше, чем длина окружности колеса, поэтому возникает необходимость в возврате гребенки в исходное положение. Зубья рейки не содержат эвольвенты, а ограничены плоскостями. Эвольвента на зубе создается за счет движения обкатки. Различают гребенки обдирочные, шлифовочные и чистовые. Шлифовочные гребенки снимают припуск, оставшийся после обдирочной гребенки и оставляют припуск для шлифования. Чистовая гребенка формирует сразу окончательный чистовой профиль.

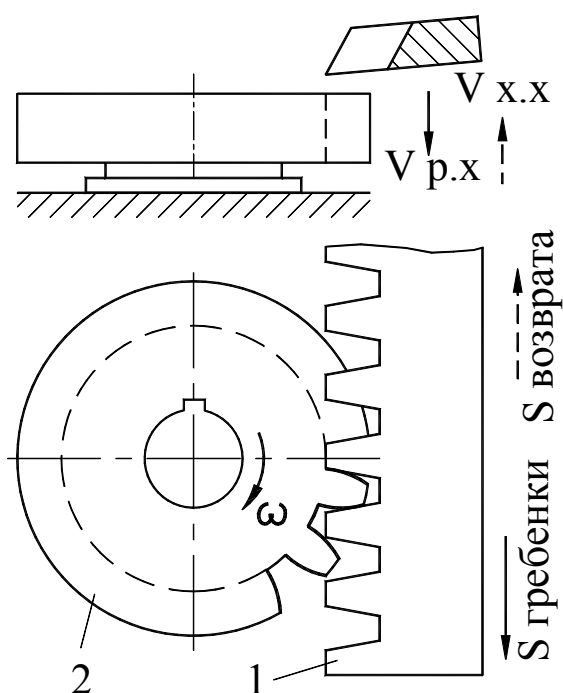


Рис. 2.56. Схема работы зубодолбежной гребенки

Долбяки работают также по принципу обкатки (рис. 2.57). Контур торца зубчатого венца является режущей кромкой. Долбяки применяют для нарезания зубчатых колес с наружным и внутренним профилем, с прямыми и винтовыми зубьями и с наружными шевронными зубьями. Долбяки имеют вид зубчатого колеса, у которого сформированы режущие поверхности. Профиль зуба долбяка – эвольвента. Передняя поверхность долбяка – поверхность конуса, задняя поверхность – эвольвентная винтовая поверхность. Наружный диаметр колеса не обрабатывается. Долбяки перетачиваются по передней поверхности до определенной толщины, определяемой силовыми расчетами. Проектируемая толщина долбяка находится из условия отсутствия подрезки ножки зуба у нарезаемого колеса.

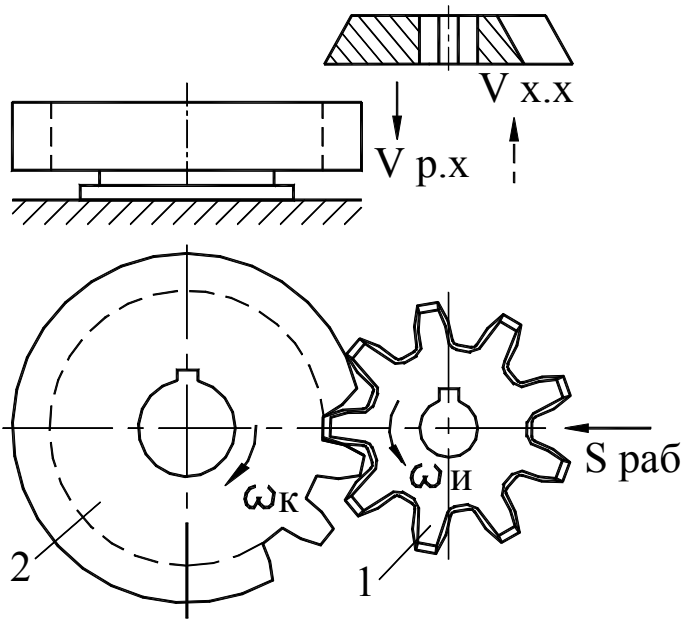


Рис. 2.57. Схема зубодолбления:
1 – долбяк; 2 – обрабатываемая заготовка

отсутствуют холостые перемещения. Производительность очень большая. Одной и той же фрезой данного модуля можно нарезать колеса с различным числом зубьев, это значительно сокращает число типоразмеров фрез. При зубофрезеровании инструмент с заготовкой имеет прерывистый контакт, это приводит к появлению на боковых поверхностях зубьев колеса оgranки и волнистости, а по дну впадины – волнистости. Для повышения точности колес необходима дальнейшая обработка зубошлифованием или шевингованием.

ределенной толщины, определяемой силовыми расчетами. Проектируемая толщина долбяка находится из условия отсутствия подрезки ножки зуба у нарезаемого колеса.

Нарезание колес червячными зуборезными фрезами

Обработка зубчатых колес осуществляется на зубофрезерных станках червячными зуборезными фрезами (рис. 2.58). В этом способе обработки

По точности червячные фрезы изготавливаются как общего назначения, так и прецизионные.

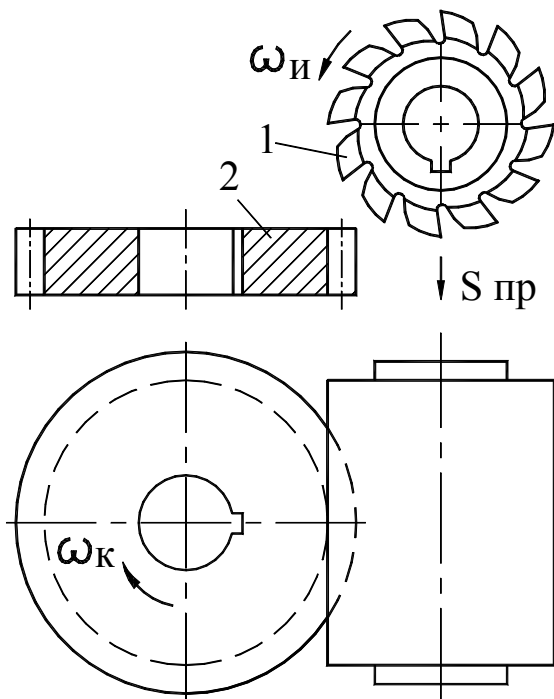


Рис. 2.58. Схема зубофрезерования червячной фрезой

Для шевингования применяется специальный инструмент – шевер – многолезвийный инструмент в виде зубчатого колеса (рис. 2.59) или рейки с лезвиями на боковых поверхностях зубьев. Резание осуществляется за счет относительного скольжения между зубьями инструмента и заготовки в процессе их зацепления. Оси заготовки и инструмента должны быть перекрещены.

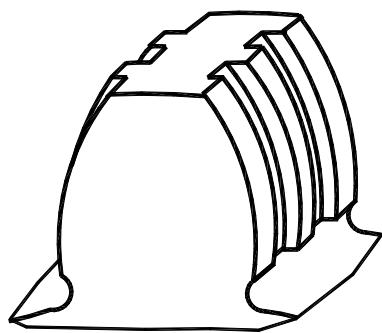


Рис. 2.59. Зуб шевера

Червячные фрезы весьма сложны в изготовлении, поэтому применяют способы повышения их стойкости: для быстрорежущих фрез применением сталей с большим содержанием кобальта и ванадия, применением фрез с рабочей частью из твердого сплава, сборного инструмента.

2.9.3. Чистовая обработка зубьев

Шевингование

Шевингование – процесс чистовой обработки боковых поверхностей зубьев колес, в том числе срезания гребешков волнистости после зубофрезерования.

Для шевингования применяется специальный инструмент – шевер – многолезвийный инструмент в виде зубчатого колеса (рис. 2.59) или рейки с лезвиями на боковых поверхностях зубьев. Резание осуществляется за счет относительного скольжения между зубьями инструмента и заготовки в процессе их зацепления. Оси заготовки и инструмента должны быть перекрещены.

Достоинства шевингования – увеличение точности зубчатого венца, получение высокого качества поверхностей зубьев, высокая производительность процесса обработки. Шевингование уменьшает шум при эксплуатации колес. Шевингование применяют в крупносерийном и массовом производстве.

Зубошлифование

Шлифование зубьев производится для окончательной обработки обычно закаленных зубчатых колес с целью достижения необходимой точности размеров и формы зубьев и малой шероховатости их поверхности. Применяются как методы копирования, так и методы обкатки (рис. 2.60) [1].

Процесс зубошлифования малопроизводителен. Оборудование и инструмент дорогостоящи. Применение устройств ЧПУ в управлении

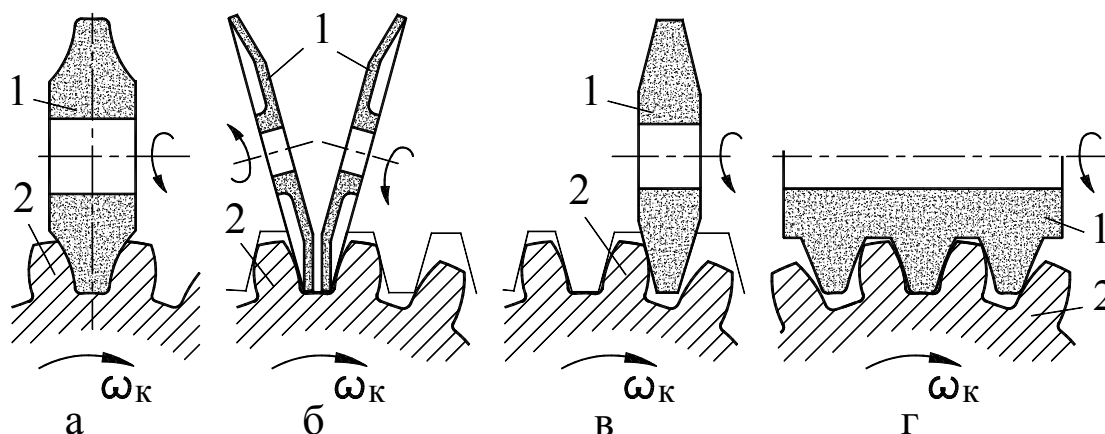


Рис. 2.60. Методы шлифования зубьев колес: а – копирования, б, в, г – обкатывание с помощью двух тарельчатых кругов, дискового круга, червячного круга, соответственно; 1 – инструмент; 2 – обрабатываемое колесо; ω_k – направление движения колеса

процессом позволяет использовать зубошлифование и в мелкосерийном производстве.

В целом, способ получения зубчатых колес механообработкой является малопроизводительным и дорогостоящим. Поэтому он вытесняется другими методами обработки, в частности, обработкой давлением (прецизионной штамповкой, холодным накатыванием, спеканием).

2.10. Обработка шпоночных пазов

При обработке шпоночных пазов заготовку устанавливают в призмах. Шпоночную фрезу выбирают исходя из размеров шпоночной канавки. При необходимости проверяют биение фрезы. Паза для призматических шпонок могут быть сквозные, закрытые с двух сторон, закрытые с одной стороны. Сквозные шпоночные паза обычно обрабатывают дисковыми трехсторонними фрезами за один проход (рис. 2.61, а). Если шпоночный паз большой ширины, а его длина небольшая, обработку можно произвести концевой шпоночной фрезой. Глухие (закрытые) шпоночные паза фрезеруют стандартными концевыми шпоночными-

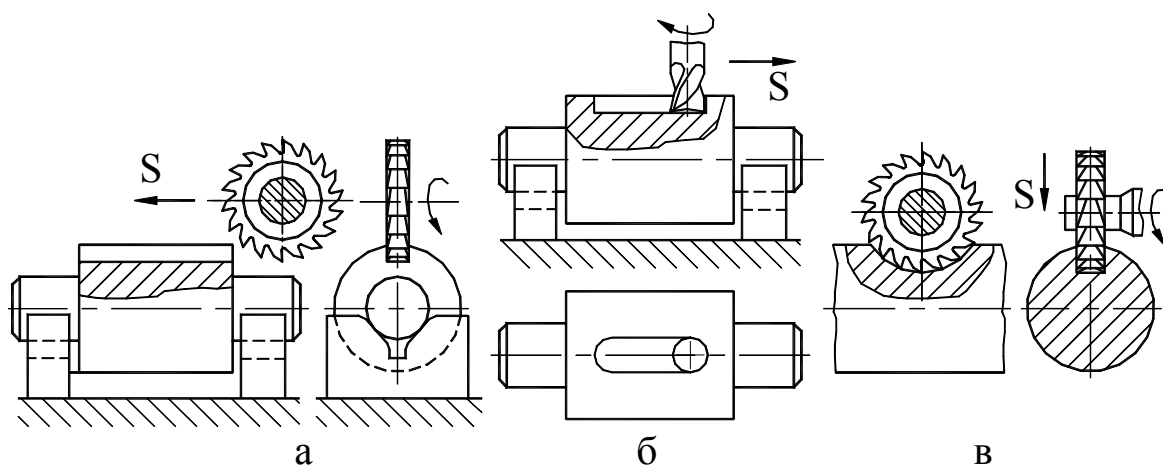


Рис. 2.61. Схемы обработки шпоночных пазов: а – сквозных; б – закрытых; в – пазов для сегментных шпонок

ми фрезами (рис. 2.61, б). Иногда предварительно сверлят отверстие на глубину фрезерования.

Пазы для сегментных шпонок обрабатывают в направлении глубины паза (рис. 2.61, в).

Шпоночные канавки в отверстиях втулок в единичном и мелкосерийном производстве получают на долбежных станках, а в серийном и массовом – протягиванием на протяжных станках.

2.11. Обработка шлицев

Шлицевые соединения находят применение в машиностроении для передачи больших крутящих моментов. Форма шлицев может быть эвольвентная, прямоугольная, трапецеидальная, треугольная. Сопряжение с прямоугольной формой шлицев центрируют по внутреннему или наружному диаметру и боковой стороне шлица, выполняя их более точными – по 8...7 качеству.

Предварительную обработку шлицев выполняют дисковыми фасонными фрезами на горизонтально-фрезерных станках (рис. 2.62, а) или обкаткой шлицевыми червячными фрезами на шлицефрезерных станках (рис. 2.62, б), или на обычных зубофрезерных станках.

В массовом и крупносерийном производстве обработку шлицев производят протягиванием на протяжных станках (рис. 2.62, в).

В последние годы распространяется метод холодного накатывания шлицев.

Накатывание выполняется роликами, рейками и многороликовыми профильными головками. Шероховатость при накатывании достигает $Ra = 1,0 \dots 0,8$ мкм [35].

Чистовую обработку выполняют шлифованием. Шлифование наружного диаметра производят на обычных круглошлифовальных стан-

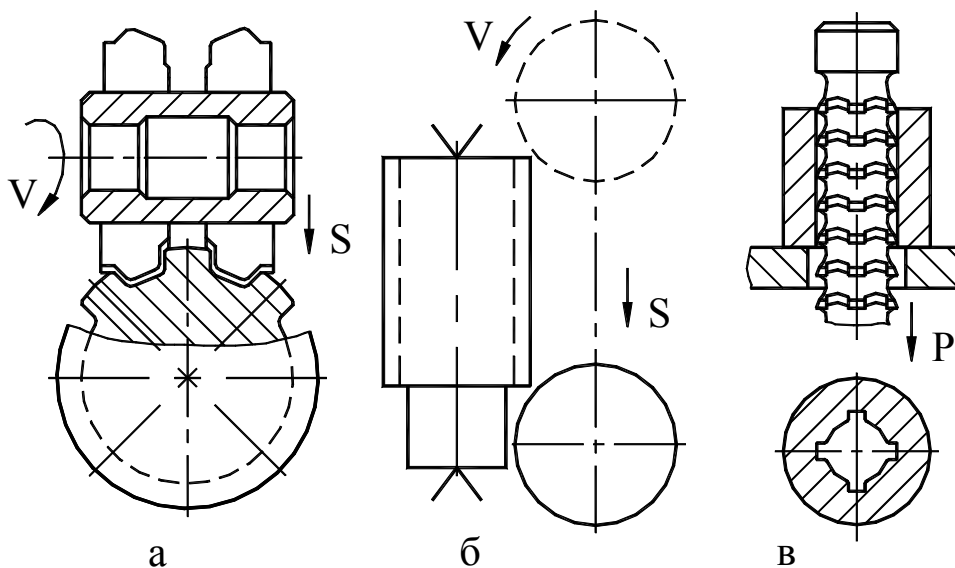


Рис. 2.62. Схемы обработки шлицев: а – фрезерованием дисковой фасонной фрезой; б – фрезерованием червячной фрезой; в - протягиванием

ках с точностью выполнения размеров по 7-му качеству и шероховатостью $Ra = 1,25 \dots 0,4$ мкм.

2.12. Особенности обработки заготовок на станках с ЧПУ

Достоинства применения. Для создания конкурентоспособной продукции необходимо располагать современной технологией ее получения с применением высокопроизводительного быстроперенастраиваемого оборудования.

В механообрабатывающем производстве данным требованиям отвечает технология, ориентированная на использование металлорежущих станков с ЧПУ.

Станки с ЧПУ позволяют не только обрабатывать самые сложные детали, но и автоматизировать машиностроительное производство.

Применение станков с ЧПУ позволяет гарантировать качество изготовленной продукции и повторяемость элементов качества, так как операционная технология перенесена из сферы производства (рабочий) в технологическую подготовку производства (инженер).

Использование станков с ЧПУ позволяет применить методы поточного производства в мелкосерийном производстве.

При применении станков с ЧПУ решаются следующие задачи.

На уровне организационно-технических мероприятий [32]:

- увеличение производственного потенциала предприятия и повышение качества продукции;
- повышение научно-технического уровня производства;
- повышение мобильности предприятия;
- сокращение затрат ресурсов на заданную производственную программу;
- повышение уровня управления предприятием.

На уровне технологии изготовления продукции:

- возможность автоматизации технологической подготовки производства при использовании CAD/CAM/CAE систем;
- объединение операций за счет применения многооперационных станков;
- обработка сложных поверхностей, в том числе с криволинейной образующей;
- повышение точности взаимного расположения поверхностей за счет обработки нескольких поверхностей за один установ.

Недостатки станков с ЧПУ:

- высокая стоимость;
- необходимость в развитой технологической подготовке производства.

Особенности технологической подготовки

Технологическая операция с ЧПУ является частью технологического процесса изготовления детали. Как при разработке техпроцесса, так и при разработке операции с ЧПУ необходимо выполнить анализ технологичности детали и при необходимости внести коррекцию в конструкцию детали.

При разработке операционной технологии на станке с ЧПУ технолог-программист решает следующие задачи [16]:

- выбирает оборудование;
- выделяет поверхности, обрабатываемые на данном станке;
- идентифицирует геометрические элементы;
- разрабатывает операционную карту, карту эскизов со схемами базирования и закрепления заготовки (рис.2.63);
- разрабатывает расчетно-технологическую карту (при ручном программировании) и карту наладки инструментов с указанием коррекций на вылет и радиус каждого инструмента;
- делает заказ на приспособления и инструмент;

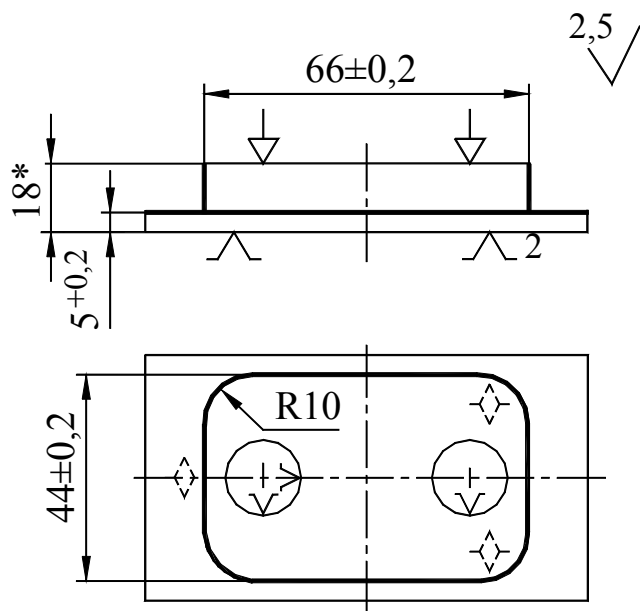


Рис. 2.63. Операционный эскиз операции фрезерной с ЧПУ

- отлаженная УП передается в базу данных ЭВМ, а УП на программноносителе передается наладчику станка с ЧПУ.

Разработка управляющей программы существенно упрощается при применении систем автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП) или CAD/CAM систем. В этом случае нет необходимости в разработке расчетно-технологических карт. В случае, если управляющая программа разрабатывается вручную, разрабатывается и рас-

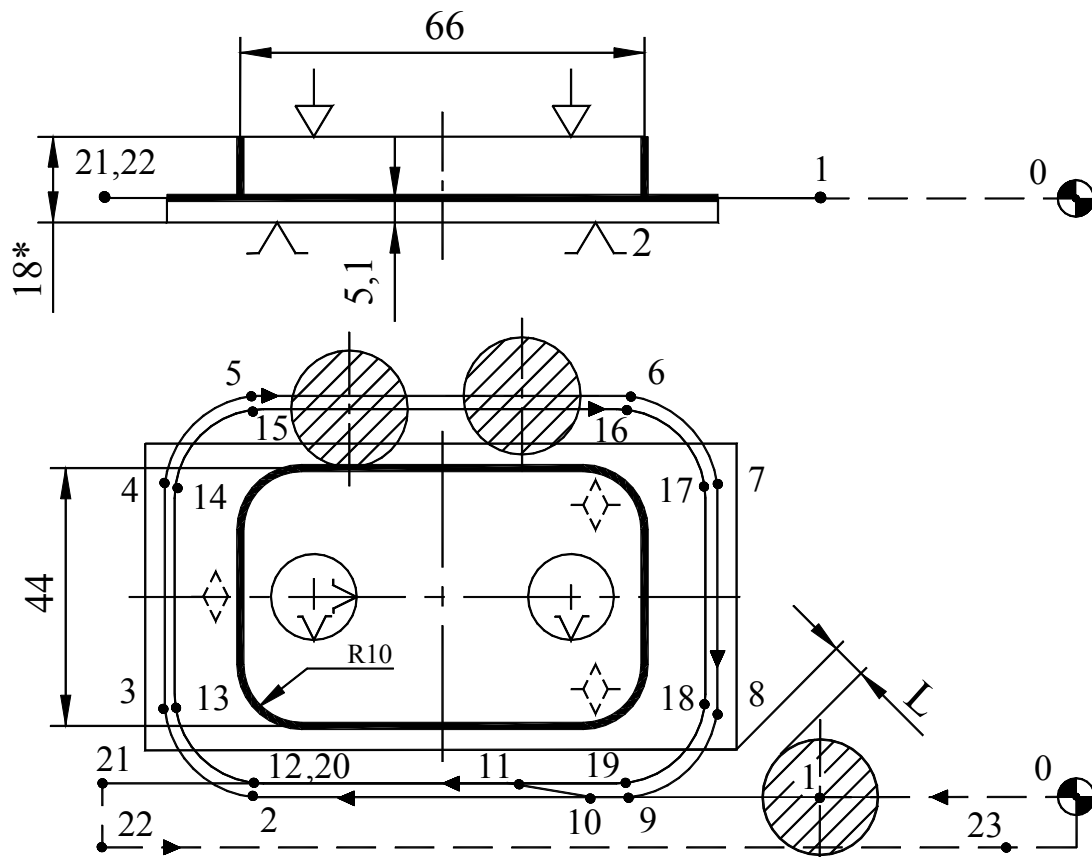


Рис. 2.64. Эскиз расчетно-технологической карты

четно-технологическая карта, на эскизе (рис. 2.64) которой показывается траектория движения инструмента, а в текстовой части указываются режимы резания и другая необходимая информация.

Станки с ЧПУ предназначены для получистовой и чистовой обработки заготовок, поэтому перед установкой заготовок на станках с ЧПУ необходимо выполнить подготовку баз.

Наиболее распространены токарные, фрезерные, шлифовальные, многооперационные и координатно-расточные станки с ЧПУ. Станки выпускаются различной степени сложности. Фрезерные станки изготавливаются с управлением по 2,5...5 координатам. Распределение по координатам производится следующим образом:

- 2,5 координатная – перемещения по трем (четырем) координатам, однако одновременные перемещения – не более, чем по двум;
- 3 координатная – одновременные перемещения по трем координатам с постоянным направлением оси шпинделя;
- 4 координатная – одновременные перемещения по трем координатам с возможностью программного поворота шпинделя или стола по одной оси;
- 5 координатная – одновременные перемещения по трем координатам с возможностью программного поворота шпинделя или стола по двум осям.

Большинство фрезерных работ выполняется на простых фрезерных станках с управлением по 2,5 координатам. Однако существует ряд работ, которые экономичнее выполнять на более сложных станках.

Последовательное выполнение поворотов на фиксированный угол и 2,5 – 3 координатных перемещений реализует так называемую **зонную** фрезерную обработку. Данный способ чаще всего применяется для обработки корпусных деталей с нескольких сторон за одну установку или обработки нескольких одинаковых деталей на многоместных приспособлениях.

Система АДЕМ позволяет производить подобную обработку практически на всех типах оборудования. Это могут быть 2,5 – 3-х координатные обрабатывающие центры с функцией поворота стола или 4 – 5 координатные станки, к которым можно отнести токарные обрабатывающие центры с дополнительным фрезерным шпинделем. Такие станки предоставляют возможность фиксированного поворота детали, закрепленной в токарном патроне, с одновременным перемещением фрезы по трем координатам и вращением вдоль одной из осей.

2.13. Обработка сложных криволинейных поверхностей

В последние годы наметилась тенденция применения деталей со сложными криволинейными поверхностями. В первую очередь это детали для сложной формообразующей оснастки, элементы гидро- и пневмоаппаратуры, корпуса авиационной и космической техники, лопатки турбин и др. Для получения сложных трехмерных поверхностей применяют следующие основные способы: копирования эталона на металлорежущем станке, копирование эталона на электроискровом станке и задание траектории движения инструмента по математическим зависимостям на металлорежущих станках с ЧПУ.

Метод копирования эталона реализован на гидроконтролируемых станках. Для повышения точности обработки эталон (копир) может изготавливаться в масштабе, например, 10:1. Метод копирования распространен в серийном и массовом производстве. Объемную деталь можно получить на электроэрозионном станке, изготовив объемный электрод по форме, соответствующей получаемой детали. Данный метод находит применение для изготовления деталей небольших габаритов. Недостаток метода – быстрый износ электрода.

С внедрением станков с ЧПУ появилась возможность обрабатывать сложные криволинейные поверхности и в мелкосерийном производстве. Для обработки применяются токарные станки и фрезерные с управлением по 2,5 и 3-м осям. Если необходимо обработать плоскую

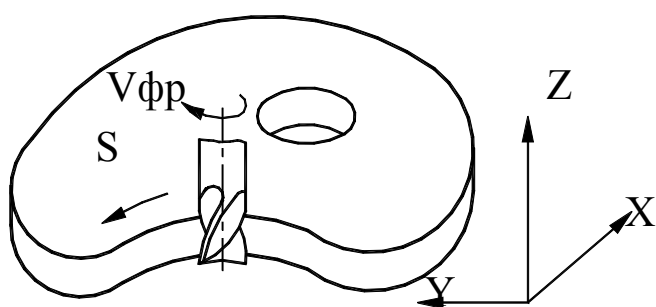


Рис. 2.65. Схема двумерной обработки криволинейной поверхности

деталь (например, кулачок для токарного автомата), фрезу подводят на необходимую высоту по координате Z и фиксируют ее. Обработка производится по двум координатам (рис. 2.65). Такие станки, как ИР320ПМФ4, позволяют вести обработку по 2,5 координатам: круговая интерполяция по двум осям, а по

третьей только линейное перемещение.

При обработке трехмерных криволинейных поверхностей часто применяют построчную обработку, при которой в одной плоскости выполняется движение инструмента по контуру обрабатываемой поверхности (одновременно по двум координатам). Затем производится пере-

мещение (сдвиг) по третьей координате и снова движение по контуру (рис.2.66). Трех-

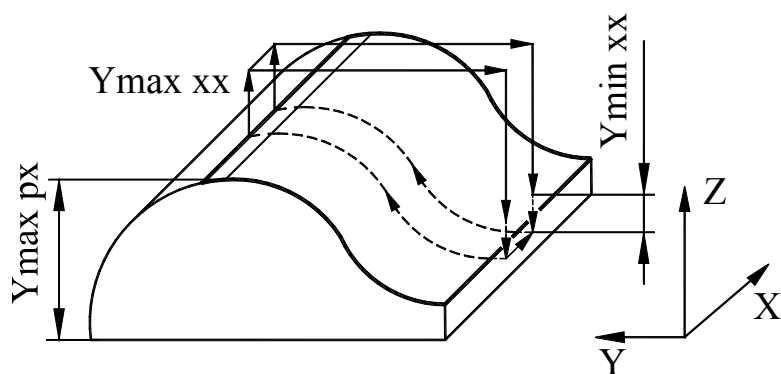


Рис. 2.66. Схема прямоугольного цикла обработки криволинейной поверхности

мерную обработку обычно выполняют концевыми фрезами. Для черновой обработки применяют концевые фрезы со сферическим торцом. После обработки на детали остаются гребешки (рис. 2.67). Чем меньше

величина сдвига, тем меньше высота гребешков и тем точнее будет обработана заготовка.

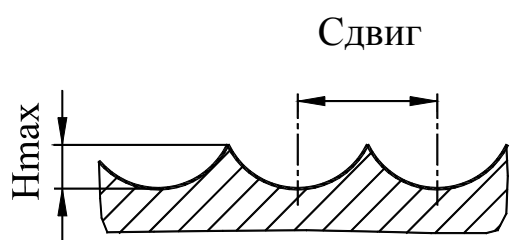


Рис. 2.67. Геометрические погрешности при обработке фрезой со сферическим торцом

Трехмерная обработка выполняется на фрезерно-копировальных станках и на фрезерных станках с ЧПУ, у которых возможна круговая интерполяция одновременно по 3-м осям (рис. 2.65). При проектировании траектории движения инструмента необходимо учитывать некоторые ограничения. При движении фрезы с подъемом (рис. 2.68) угол подъема не

должен превышать 30° . При движении фрезы с опусканием (рис. 2.69) необходимо выбирать фрезу, способную выдержать повышенную осе-

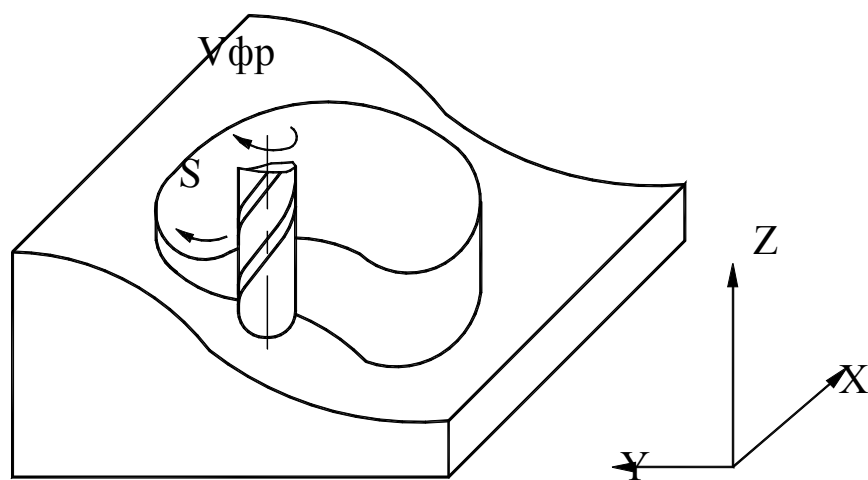


Рис. 2.68. Схема трехмерной обработки

вую нагрузку. Участки поверхностей, ограниченные перпендикулярными поверхностями, обходят вдоль этих поверхностей (рис. 2.68). При

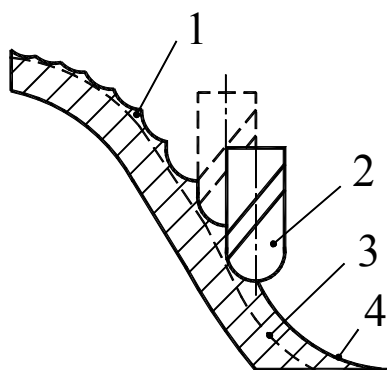


Рис. 2.69. Схема обработки сложной поверхности:
1 – гребешки; 2 – фреза;
3 – теоретический контур;
4 – контур заготовки

этом часть материала заготовки не выбирается из-за большого радиуса фрезы (рис. 2.70). Это исправляется повторным проходом фрезой меньшего диаметра или слесарной доработкой.

Геометрические погрешности, полученные при обработке фрезерованием, до недавнего времени убирали исключительно вручную с помощью пневматических шлифовальных машинок (рис.2.71).

Улучшение характеристик устройств ЧПУ позволяет создавать металлорежущее оборудование с новыми возможностями. Применение глобусных столов на обрабатывающих центрах с развитым программным обеспечением позволяет отслеживать перпендикулярность оси инструмента к обрабатываемой поверхности. Обработку можно вести фрезой с плоским торцом. Этим самым значительно уменьшается высота гребешков при фрезеровании трехмерной поверхности.

Применение систем CAD/CAM позволяет оптимизировать процесс обработки по критерию минимальных геометрических погрешностей.

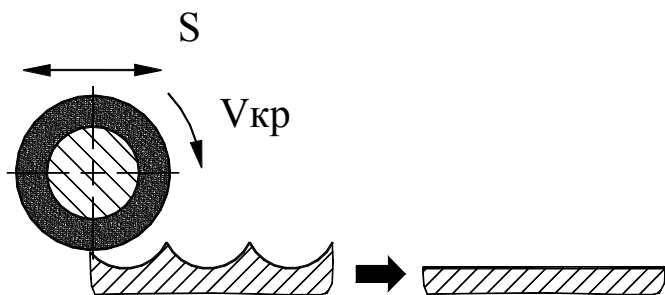


Рис. 2.71. Доработка поверхностей после объемного фрезерования

Постоянная борьба за массу изделия, работающего в тяжелых условиях приводит к возникновению тонкостенной пространственной конструкции переменной толщины с нелинейными ребрами жесткости, наплывами и поднутрениями сложной формы.

Разработка технологии изготовления корпуса коробки передач гоночной машины Mercedes FIA/GT в системе CAD/CAM ADEM позволило получить высоту гре-

При этом часть материала заготовки не выбирается из-за большого радиуса фрезы (рис. 2.70). Это исправляется повторным проходом фрезой меньшего диаметра или слесарной доработкой.

Геометрические погрешности, полученные при обработке фрезерованием, до недавнего времени убирали исключительно вручную с помощью пневматических шлифовальных машинок (рис.2.71).

Улучшение характеристик устройств ЧПУ позволяет создавать металлорежущее оборудование с новыми возможностями. Применение

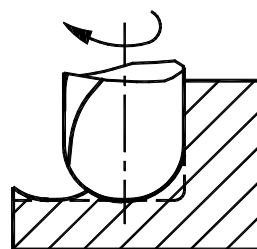


Рис. 2.70. Схема образования погрешностей при обработке сферическими фрезами

Разработка технологии изготовления корпуса коробки передач гоночной машины Mercedes FIA/GT в системе CAD/CAM ADEM позволило получить высоту гре-

Зенковки: угол 60° - 2353-6057; угол 90° - 2353-6057-01; радиусная – 2355-6030; шаблон радиусный, набор № 1; ручная пневматическая головка УСМ 12-В-3000; зенковка радиусная 2355-6031

2.15. Отделочные операции

К методам отделочной обработки относятся тонкое точение, алмазное выглаживание, абразивные методы отделочной обработки (тонкое шлифование, хонингование, суперфиниширование, доводка, притирка, полирование), обработка давлением.

Каждый из перечисленных методов обладает своими достоинствами и недостатками. При получении особо точных поверхностей необходимо учитывать многие параметры, влияющие на точность обработки. На отделочных операциях получают 6...4 квалитет точности и шероховатость поверхности $Ra = 1,25...0,02$ мкм.

При обработке ювенильных (сверхгладких и сверхчистых) поверхностей с субмикронной точностью применяются методы нанотехнологии, базирующейся на принципиально новых физико-химических процессах размерной обработки, обеспечивающих параметр шероховатости, измеряемый в тысячных долях микрометра.

В НИИ технологии машиностроения (НИИТМ, г. Москва) разработаны физико-химические основы нанотехнологии, позволяющие управлять параметрами поверхности за счет работы выхода электрона и тем самым создавать сверхгладкие, сверхточные поверхности деталей.

2.15.1. Хонингование

Хонингование – абразивная обработка внутренних цилиндрических поверхностей.

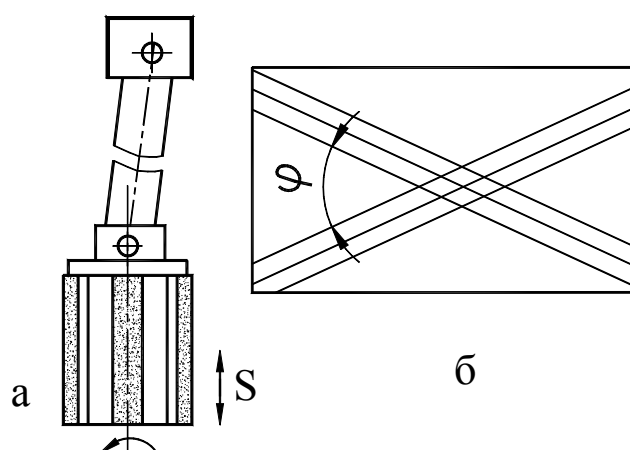


Рис. 2.72. Хонингование: а – хонинговальная головка; б – траектория движения инструмента (развертка отверстия)

Для обработки применяют специальный инструмент – хонинговальную головку (рис. 2.72, а). Для оснащения головок применяют абразивные, алмазные бруски, а также бруски из эльбора. В процессе работы инструмент совершает вращательное и возвратно-поступательное движения (рис. 2.72, б).

В процессе хонингования происходит повыше-

ние точности размеров, снижение погрешности неточности формы, уменьшение шероховатости поверхности, повышается несущая способность обработанной поверхности.

Припуск под хонингование может колебаться от сотых до десятых долей миллиметра. Минимальный припуск применяется в случае, если необходимо изменить только шероховатость поверхности. Особенность хонингования – получение на обработанной поверхности благоприятного микрорельефа для удержания смазки, что способствует снижению износа трущихся пар. Поэтому хонингование часто применяют для обработки гидравлических цилиндров, подшипников скольжения.

Хонингование применяется после тонкого точения, шлифования и других чистовых операций механической обработки.

2.15.2. Суперфиниширование

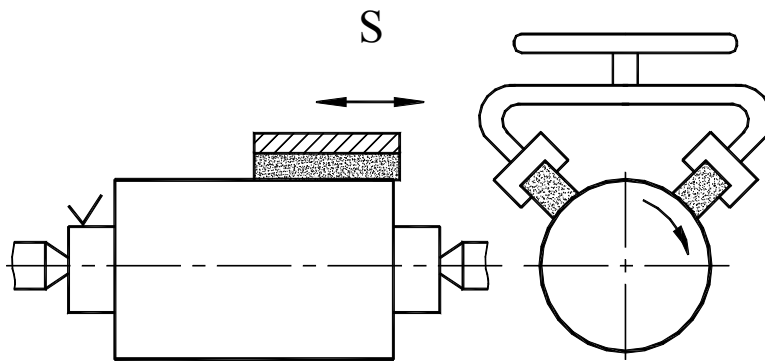


Рис. 2.73. Схема суперфиниширования

Суперфиниширование – отделочная обработка различных поверхностей деталей, в том числе цилиндрических, абразивными брусками (рис. 2.73). В результате суперфиниширования шероховатость поверхности снижается до $Ra =$

$0,1 \dots 0,012$ мкм, увеличивается относительная опорная длина профиля поверхности с 20 до 90% [35].

Существенного изменения размеров и макрогеометрии поверхности не наблюдается. Обработка производится мелкозернистыми брусками зернистостью от 3 до M14 с добавлением смазочного вещества (смесь керосина с маслом и др.) при небольшой скорости (до 2,5 м/с) и с весьма малыми давлениями инструмента на поверхность заготовки (0,1...0,3 Мпа – для заготовок из стали; 0,1...0,2 Мпа – для заготовок из чугуна; 0,05...0,1 Мпа – для заготовок из цветных металлов). Толщина снимаемого слоя 0,03...0,005 мм.

2.15.3. Доводка

Доводка – абразивная обработка, при которой инструмент и заготовка одновременно совершают относительные движения или при неподвижности одного из них другой совершает сложное движение. Доводку совершают микропорошками из алмазов, эльбора и других абразивов с целью получения поверхностей прецизионных деталей с высокими требованиями к точности геометрической формы, взаимному расположению поверхностей, минимальной шероховатости.

Доводочные операции (рис. 2.74) могут выполняться вручную или с применением соответствующего оборудования. Перед доводкой дета-

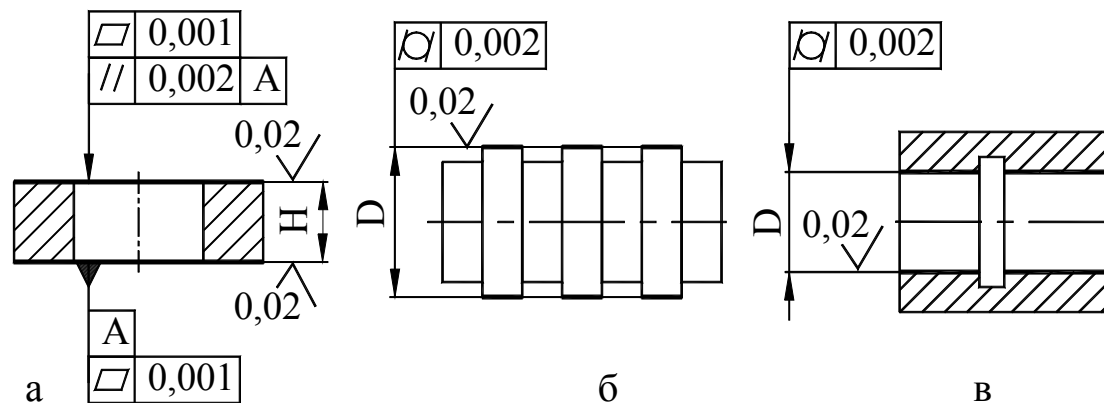


Рис. 2.74. Операционные эскизы доводочной операции: а – доводка плоскости; б – доводка наружного цилиндра; в – доводка отверстия

ли должны быть размагничены, очищены от заусенцев и посторонних частиц; на доводимых поверхностях не допускаются трещины, сколы и глубокие риски, превышающие половину величины припуска на доводку. Минимальные отклонения от геометрической формы и взаимного расположения поверхностей деталей должны быть обеспечены обработкой базовых поверхностей на предшествующей операции. Исходная погрешность формы поверхности не должна превышать половины припуска на доводку. Для достижения высокой производительности доводки необходимо на предшествующей операции обработать поверхности с параметром шероховатости R_a в пределах 1,25 – 0,5 мкм и обеспечить требования по точности формы и взаимного расположения поверхностей. Технологический процесс доводки деталей, в зависимости от точности и качества, выполняют за одну или несколько последовательных операций: предварительная доводка, окончательная доводка, отделка. На предварительной доводке происходит исправление исходной неточности формы со снятием основного припуска. На окончательной доводке и отделке достигаются требуемые параметры качества. Величину общего припуска под доводку назначают в пределах от 0,02 до 0,05 мм. На окончательную доводку и отделку оставляют припуск 0,005–0,03 мм. На предварительной доводке необходимо обеспечить шероховатость

Ra = 0,63 – 0,32 мкм, на окончательной – Ra = 0,16 – 0,08 мкм, на отделочной операции – Ra = 0,04 – 0,02 мкм.

Доводочное оборудование необходимо выбирать в зависимости от типа и размеров доводимой поверхности, габаритных размеров детали и предъявляемых к доводимой поверхности требований по точности и шероховатости. Доводку наружных цилиндрических поверхностей, отверстий, плоских поверхностей осуществляют на профилированном оборудовании. Доводка сфер чаще всего производится на универсальных станках (токарных и сверлильных) или на специальных станках, созданных для обработки детали только одной конструкции.

Для осуществления процесса доводки применяется инструмент – притир. Для предварительной обработки чаще всего используют чугунные притиры из износостойкого мелкозернистого перлитного чугуна, для окончательной – медь, латунь, бронза, для отделки – неметаллические материалы: пластмассы, дерево, специальные смолы, ткани (табл. 2.8).

Притиры по форме классифицируют на

- плоские – для доводки плоских и наружных поверхностей;
- цилиндрические и конические для доводки внутренних поверхностей тел вращения;
- специальные и фасонные – для доводки асимметричных и фасонных поверхностей.

Параметры шероховатости рабочей поверхности доводочного инструмента должны быть соизмеримы с параметрами шероховатости по-

Таблица 2.8

Материал доводочного инструмента

Материал детали	Обработка		
	Предварительная	Чистовая (Окончательная)	Отделка
Твердые сплавы	Чугун СЧ10, СЧ15, СЧ20	Чугун СЧ20 Латунь Л63	Текстолит
Закаленные хромистые стали и сплавы Металлокерамика		Чугун СЧ20 Сталь Ст3 Латунь Л63 Бронза БрКМц 3-1	Медь М1 Текстолит Винипласт
Стали незакаленные и нержавеющей Титановые сплавы	Чугун СЧ10,	Чугун СЧ20 Алюминиевый сплав Амгб	Текстолит Липа Батист, фланель, замша

Медь Латунь Бронза Алюминиевые сплавы	СЧ15, СЧ20 Латунь Л63	Чугун СЧ20 Стекло Бук	Текстолит Липа, бук Смола Батист, фла- нель, замша
---	-----------------------------	-----------------------------	--

верхности достигаемыми при доводке на данной операции. Величина отклонения геометрической формы должна быть не более 1/3 величины допуска на размер доводимой поверхности.

При работе на доводочный инструмент подаются доводочные средства. Доводочные средства применяют в виде паст, суспензий, аэрозолей и микропорошков, шаржированных в притир:

- суспензии рекомендуются на предварительных доводочных операциях и при больших размерах притиров для получения параметра шероховатости $Ra = 0,32 - 0,08$ мкм;
- пасты рекомендуются для достижения параметра шероховатости $Ra = 0,04 - 0,02$ мкм при небольших размерах притира;
- доводка шаржированным в поверхность притира микропорошком рекомендуется на окончательных доводочных операциях для достижения высокой плоскостности поверхности до 0,0003 мм и минимального параметра шероховатости поверхности $Ra = 0,02 - 0,01$ мкм;
- аэрозоли применяются взамен паст и суспензий при больших размерах притиров.

Количество доводочного средства, подаваемого в зону доводки, строго дозируется. Малое количество может вызвать разрыв абразивного слоя и непосредственный контакт поверхности детали и инструмента, что резко ухудшит качество обработки. Чрезмерное количество резко снижает производительность процесса. Доводочное средство представляет собой пасту из абразивного материала (табл. 2.9) и наполнителей: масел растительных и минеральных, сложных эфиров, поверхностно-активных веществ (ПАВ), специальных добавок и наполнителей (парафин, воск пчелиный, дибутилфталат).

Жидкие компоненты паст и суспензий выполняют следующие функции:

- равномерно распределяют абразивные зерна в зазоре между обрабатываемой поверхностью и притиром;
- оказывают смазочное действие и облегчают процесс притирки;
- действуют как охлаждающие жидкости, снижают температуру и деформацию детали;
- удаляют изношенные зерна абразива и частицы металла.

В качестве моющих жидкостей после доводки водорастворимыми пастами применяют однопроцентный раствор тринатрийфосфата, спирт, чистую холодную и горячую воду; после доводки жировыми пастами на органической основе применяют очищенный керосин, бензин, ацетон, моющие средства, содержащие поверхностно-активные вещества.

Таблица 2.9

Доводочные средства

Материал детали	Назначение операции	Материал порошка	Зернистость
Твердые сплавы, твердые покрытия	Предварительная	Алмаз АСМ, Алмаз АМ	28/20 - 14/10
	Окончательная		10/7 - 1/0
Закаленные хроми- стые стали и сплавы Металло- керамика	Предварительная	Алмаз АСМ, Эльбор ЛМ (Кубонит КМ)	20/14 - 14/10
	Окончательная	Карбид кремния Карбид бора Электрокорунды: Белый 23А, 24А Хромистый 34А Монокорунд 45А	М28 - М14
Незакален- ные стали Нержавею- щие стали Титановые сплавы	Предварительная	Алмаз АСМ, Эльбор ЛМ (Кубонит КМ)	10/7 - 1/0
	Окончательная	Электрокорунд белый 24А Монокорунд 45А Глинозем	М10 - М1
Медь Латунь Бронза Алюминие- вые сплавы	Предварительная	Алмаз АСМ, Эльбор ЛМ	5/3 - 1/0
	Окончательная	Электрокорунд белый 24А Монокорунд 45А Глинозем	М5 - М1
	Отделка	Алмаз АСМ	0,7/0,3 - 0,1/0

Для измерения доведенных поверхностей применяется специаль-
ное оборудование. Толщина плоских деталей и диаметр наружных по-
верхностей измеряется индикатором 1ИГП или скобой рычажной типа

СР с ценой деления 0,001 мм, диаметр внутренних поверхностей – нутромером с ценой деления 0,002 мм. Шероховатость доведенных поверхностей измеряется по ГОСТ 19300–86 интерферометром МИИ-10 (до Ra = 0,16 мкм), профилометром модели 283 (до Ra = 0,025 мкм), профилографом модели 252 (до Rz = 0,10 – 0,032 мкм). Отклонение от круглости измеряют на кругломерах моделей 289 и 290. Отклонение от плоскостности измеряют методом интерференции с помощью стеклянных пластин по ГОСТ 2923–75 или ТУЗ-3.2123–88.

Пример записи доводочной операции в технологической документации (доводка производится на токарном станке):

19 1 095

395 Доводочная

Станок токарный точности «В»

А. Установить инструмент в расточенной цанге

1. Зачистить конус угол $60^{\circ} \pm 1^{\circ}$, выдерживая шероховатость поверхности $Ra \leq 0,8$ мкм

2. Довести предварительно конус угол $60^{\circ} \pm 1^{\circ}$ в отверстии, не нарушая размеров, выполненных по чертежу

Зенковки 2353-6059; 2353-6059-01; паста эльборовая МНО Л М40; притир 2854-6414

3. Довести конус (угол $60^{\circ} \pm 1^{\circ}$) окончательно по чертежу

Микроскоп МБС2-16; подсветка 7875-6018

Паста эльборовая МНО Л М10 ОСТ 92 036-2-70; угломер ц. д. 5'.

Инструмент предъявить ОТК для контроля угла $60^{\circ} \pm 1^{\circ}$

Детали и притир в процессе доводки и перед контролем периодически (каждые 10÷15 мин) промывать с помощью кисти или салфетки, смоченных в хладоно-нефрасовой смеси

До окончания доводки всей партии, обработанные детали уложить в металлическую тару с крышкой и чистой промывочной смесью

2.15.4. Полирование

Полирование предназначено для уменьшения параметров шероховатости поверхности без устранения отклонений размеров и формы деталей. При окончательном полировании достигается (при малых давлениях резания 0,03...0,2 Мпа) параметр шероховатости Ra = 0,1...0,008 мкм. Абразивными инструментами являются эластичные круги (войлок, фетр, ткань, кожа, капрон и т.п.), покрытые полировальными пастами,

шлифовальные шкурки и свободные абразивы (обработка мелких заготовок в барабанах и виброконтейнерах). В качестве абразивных материалов применяют электрокорунд, карбиды кремния, бора, окись хрома, железа, алюминия, пасты ГОИ, алмазные и эльборовые шкурки и др. Процесс полирования производят на больших скоростях (до 50 м/с). Применяют химическое и электрохимическое полирование.

2.16. Смазочно-охлаждающие жидкости при обработке резанием

При обработке материалов резанием в зоне контакта инструмента с заготовкой возникают большие температуры. Уменьшению этих температур способствует оптимизация геометрии резца и применение смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ). Большинство операций механической обработки осуществляется с применением СОЖ. При резании смазочно-охлаждающие жидкости должны оказывать смазочное, охлаждающее и моющее действия.

Под **смазочным** действием понимают способность СОЖ образовывать на контактных поверхностях инструмента, на стружке и на обработанных поверхностях заготовки прочные пленки, полностью или частично предотвращающие соприкосновение передней поверхности со стружкой и задних поверхностей с поверхностью резания. Смазочное действие жидкостей растет с повышением проникающей способности веществ, входящих в ее состав, и активности, с которой эти вещества вступают во взаимодействие со свежесформированными поверхностями детали, стружки и инструмента.

Охлаждающее действие СОЖ заключается в основном в отборе тепла от нагретых контактных поверхностей инструмента и поверхностей обрабатываемой детали за счет конвективного теплообмена. Теплообмен между нагретыми поверхностями и СОЖ зависит от условий испарения жидкости, теплофизических свойств контактирующих тел, смачивающих способностей СОЖ, скорости ее относительного движения.

Под **моющим** действием СОЖ понимают способность жидкостей удалять продукты изнашивания с поверхности резания и контактных поверхностей инструмента. Моющая способность СОЖ улучшается со снижением поверхностного натяжения жидкости.

Кроме смазочных, охлаждающих и моющих свойств, смазочно-охлаждающие жидкости должны обладать стабильностью, не иметь неприятного запаха, быть мало склонными к пенообразованию, не вызывать коррозии станка, детали и инструмента.

Все применяемые в настоящее время СОЖ можно разделить на имеющие в своей основе воду (водные жидкости) и масло (масляные жидкости). К первой группе относятся водные растворы электролитов и поверхностно-активные вещества, масляные эмульсии и присадки; эти жидкости имеют повышенные охлаждающие и пониженные смазочные свойства. Ко второй группе относятся растительные масла, минеральные масла чистые и с присадками; эти жидкости имеют пониженные охлаждающие и повышенные смазочные свойства [4].

При выборе состава СОЖ для механообработки необходимо учитывать следующее. На контактирующих поверхностях обрабатываемой заготовки и инструмента возникают высокие контактные давления. Контактное давление максимально в непосредственной близости к главной режущей кромке (до 60...70 ГПа). Такое давление препятствует доступу в активную зону смазочно-охлаждающей жидкости и эффективному охлаждению. Проблему повышения эффективности решают подачей СОЖ оптимальным способом в зону резания и обоснованным выбором рациональной рецептуры СОЖ. Основные пути улучшения охлаждающего действия СОЖ следующие [43]:

- использование в составе СОЖ жидкостей с высокой теплопроводностью, теплоемкостью и плотностью;
- применение компонентов с малой кинематической вязкостью;
- увеличение скорости потока СОЖ относительно охлаждаемых объектов;
- уменьшение гидравлического эквивалентного диаметра охлаждаемого объекта.

Первые два пункта в основном зависят от состава СОЖ, который должен удовлетворять еще и другим требованиям: предупреждения коррозии, долговечности, стабильности и т.д.

Перечисленные требования относятся к функциональным и эксплуатационным свойствам СОЖ, однако, для конкретного технологического процесса основные требования: увеличение стойкости инструмента и повышение качества обработанных деталей.

Применение при резании СОЖ уменьшает силу резания, улучшает качество обработанной поверхности и в большинстве случаев повышает стойкость инструмента.

При обработке коррозионно-стойких сталей в большинстве случаев доминирует адгезионно-усталостный износ. Для его подавления применяют СОЖ с высокими смазывающими свойствами. Из-за меньшей реакционной способности коррозионностойких сталей более высокие результаты при их обработке показывают СОЖ с высокой концентрацией противозадирных и противоизносных присадок.

Фрезерование коррозионно-стойких сталей концевыми, дисковыми, цилиндрическими фрезами целесообразно осуществлять с применением эмульсионных и полусинтетических СОЖ. Чем пластичнее сталь, тем большее влияние оказывает СОЖ на процесс фрезерования. И, наоборот, при фрезеровании малопластичных, термически упрочненных сталей (09Х16НЧБ, 40Х13) состав СОЖ незначительно влияет на стойкость инструмента. При фрезеровании вязких сталей более эффективны СОЖ с высокими смазывающими свойствами (Аквол-6).

При фрезеровании без применения СОЖ наблюдается приваривание стружки к твердосплавным зубьям с последующим отделением крупных частиц твердого сплава инструмента вместе со стружкой. Применение СОЖ препятствует этому процессу, повышая стойкость и работоспособность инструмента.

При обработке деталей из титановых сплавов усадка стружки мала и при определенных условиях происходит не усадка, а удлинение стружки. Это явление названо «отрицательной усадкой стружки», связано с низкой пластичностью материала и приводит к появлению высоких температур и контактных давлений, а, следовательно, к адгезионному износу.

Для повышения стойкости инструмента при обработке титановых сплавов необходимо уменьшать адгезионные силы, что возможно двумя путями: либо снижать температуру за счет замедления скорости резания, либо за счет применения СОЖ. При обработке титановых сплавов применяют СОЖ: ЭГТ, Аквол – 2, 6, 10М, 11, Укринол-1 и другие.

При обработке нержавеющей стали тип применяемых СОЖ существенно влияет на износ инструмента. Так, при фрезеровании нержавеющей стали 12Х18Н10Т торцовыми фрезами, стойкость инструмента

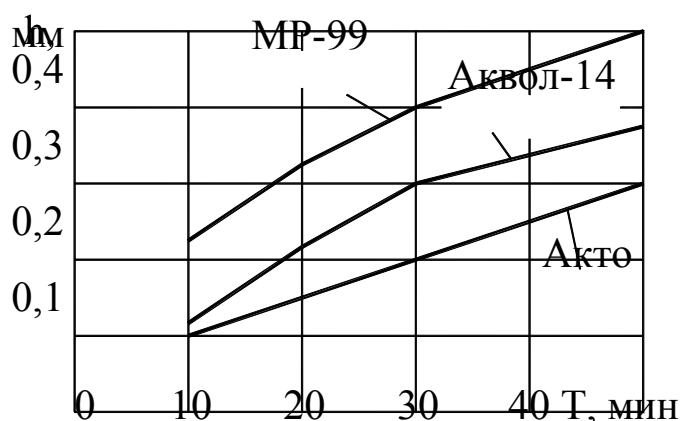


Рис. 2.75. Влияние типов СОЖ на износ инструмента при обработке стали 12Х18Н10Т

существенно зависит от типа применяемой СОЖ (рис. 2.75). При обработке этой же стали без применения СОЖ, износ фрезы за 20 мин составил 0,55 мм [43].

Твердые сплавы по сравнению с быстрорежущими сталями обладают более высокой теплостойкостью, поэтому стойкость твердосплавных инструментов при применении

СОЖ возрастает меньше быстрорежущих.

Для повышения стойкости инструмента более эффективными являются СОЖ не на масляной, а на водной основе (рис. 2.76).

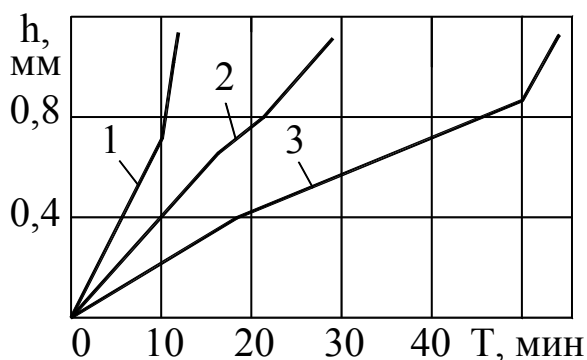


Рис. 2.76. Влияние СОЖ на износ задней поверхности резца из стали Р18 при точении стали 45 [4]: 1 – всухую; 2 – с сульфифрезолом; 3 – с эмульсией

При обработке резанием существуют следующие методы подвода СОЖ: полива (рис. 2.77, а), напорного охлаждения (рис. 2.77, б) и охлаждения туманом (рис. 2.77, в).

Недостатки 1-го метода – охлаждается наружная поверхность стружки, наименее нагретая. Второй метод более эффективен – охлаждение подается в точки, наиболее приближенные к точкам с максимальной температурой.

Достоинства третьего метода – очень интенсивное поглощение тепла за счет повы-

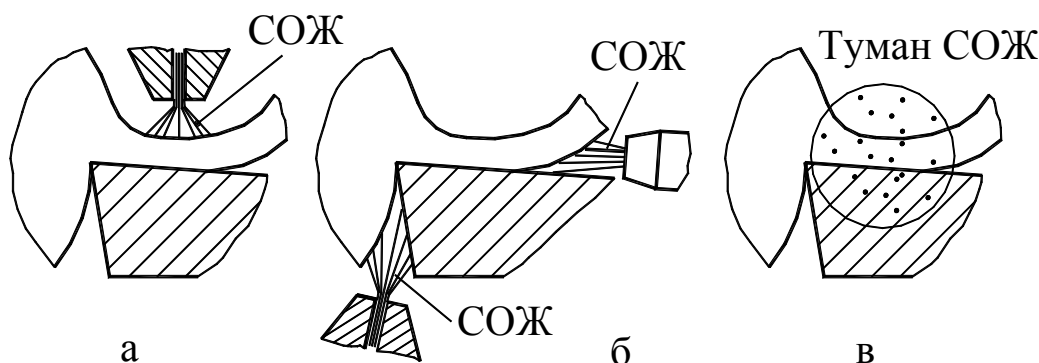


Рис. 2.77. Методы подвода СОЖ:

а – полива; б – напорного охлаждения; в – охлаждения туманом

шения мелкодисперсности, т.е. жидкость уже готова к испарению и встретившись с нагретым источником тепла быстро испаряется, поглощая при этом значительное количества тепла. Третий метод считается самым эффективным. При сверлении незаменимым является второй метод, когда подача СОЖ осуществляется через каналы в сверле. Метод полива менее эффективен.

При проектировании операций обработки резанием необходимо учитывать, в каком диапазоне скоростей будет обрабатываться заготовка. При низких скоростях резания выбирают СОЖ с большим смазывающим эффектом, при высоких – охлаждающим.

Одной из лучших СОЖ является вода, но она неприменима из-за коррозии станка, поэтому часто используются эмульсии (раствор эмульсола в воде) или мыльные жидкости. СОЖ типа сульфифрезолов – серо-содержащих масел чаще используется при низких скоростях резания, для получения смазывающего эффекта. Основное их преимущество – полное отсутствие воды, а есть только легкие минеральные масла. Но это экологически грязный продукт, у некоторых людей вызывает кожные заболевания. При низких скоростях резания на смену сульфифрезолом приходят графитовые смазки, которые наносятся на резец и долго там удерживаются.

При обработке чугуна влияние СОЖ несколько меньше, чем при обработке сталей. Часто при обработке чугуна СОЖ вообще не применяется, так как СОЖ всюду разносит мелкую чугунную стружку, которая приводит к интенсивному абразивному износу станка. Для отвода стружки применяется отсос стружки.

Чистый алюминий весьма критичен к типу применяемой смазочно-охлаждающей жидкости. Термообработанные алюминиевые сплавы в определенном диапазоне скоростей обрабатывают без применения СОЖ.

Для увеличения срока службы СОЖ применяют устройства по ее очистке. Несмотря на значительную стоимость этих устройств, они быстро себя окупают.

2.17. Резание струей воды

В последние годы бурно развивается экологически чистый способ обработки резанием – резание струей воды. В качестве режущего инструмента используется струя воды высокого давления, в том числе и с абразивом. Данный способ используется для резания композиционных материалов, материалов чувствительных к воздействию тепла (алюминиевых сплавов, коррозионно-стойкой стали и титана), армированного стекла, мрамора, гранита, керамики, фарфора, природного камня, ткани, бумаги (в том числе и с покрытием пенопластом), рифленого изоляционного материала, кожи, дерева, пробки, резины, ковровых материалов.

Водоструйное резание можно успешно применять при изготовлении деталей автомобилей: панелей приборов, ковриков, дверных панелей и бамперов, для вырезания любых уплотнений и прокладок, сетчатых деталей из меди и титана. Эффективна двух- и трехмерная обработка заготовок из пластмассы и композитов, а также деталей со сложными поверхностями практически из любых материалов. Водоструйная обра-

ботка применяется для разрезания разнообразных пищевых продуктов, утилизации военной техники.

Станок легко настраивается так, что усилия резания будут ничтожны. Это дает возможность обрабатывать нежесткие конструкции. Отсутствие системы СПИД (станок – приспособление – инструмент – деталь), в ее традиционном понимании, позволяет значительно сократить затраты на достижение высокой точности обработки.

Температура в зоне формообразования не превышает 90...95°C, благодаря чему сохраняется структура материала. Рабочее давление достигает 700 Мпа. Создаются станки с еще более высоким рабочим давлением. Стойкость инструмента достигает 150 часов. Технологический процесс относится к категории экологически чистых, без выбросов токсичных паров и образования взвешенной пыли.

Оборудование легко интегрируется с другим, управляемым от компьютера. Время смены инструмента достигает 1 мин. В качестве абразива зарубежные фирмы применяют красный гранат с размерами частиц 0,2...0,3 мм, но можно использовать и литейный песок. Расход абразива до 300 г/мин.

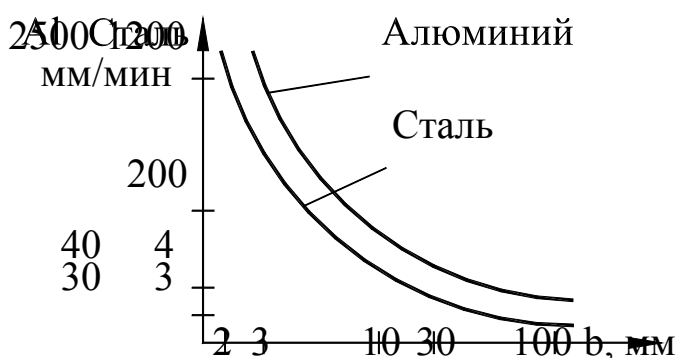


Рис. 2.78. Выбор скорости резания от толщины заготовки (мощность насоса 37 кВт) [62]

абразива до 300 г/мин.

В качестве устройств управления водоструйными комплексами применяют устройства ЧПУ типа CNC со специальным программным обеспечением. Разработаны и CAD/CAM системы для водоструйной обработки.

Скорость обработки для стали достигает

1200 мм/мин и вдвое больше для алюминиевых сплавов (рис. 2.78).

2.18. Электрофизические и электрохимические методы обработки

2.18.1. Электроэрозионная обработка

Электроэрозионная (электрофизическая) обработка применяется для обработки особопрочных и труднообрабатываемых материалов и имеет 4 разновидности: электроискровую, электроимпульсную, анодно-механическую и электроконтактную.

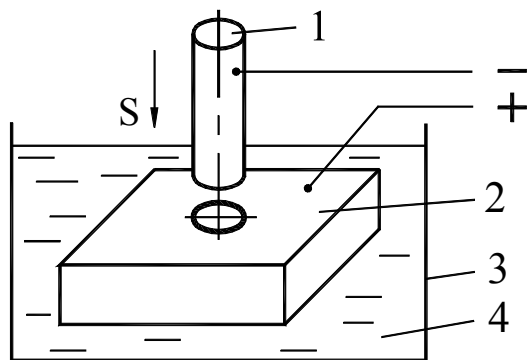


Рис. 2.79. Прошивание отверстия:
1 – электрод; 2 – заготовка; 3 – ванна;
4 – диэлектрик

Электроискровая обработка основана на воздействии кратковременных искровых разрядов между электродом и заготовкой, помещенной в ванне с диэлектрической жидкостью. Этот способ чаще всего применяется для прошивания отверстия (рис. 2.79), в том числе профильного. Электрод имеет профиль, соответствующий профилю отверстия (рис. 2.80). Диаметр обрабатываемых отверстий 0,25...2 мм. Погрешность изготовления электрода должна быть не более 0,01 мм.

Шероховатость, получаемая при электроэрозионной обработке до

Шероховатость, получаемая при электроэрозионной обработке до

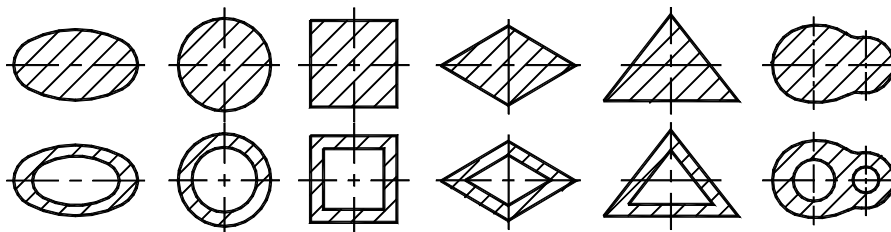


Рис. 2.80. Сечение профильных электродов

$Ra = 0,2$ мкм, точность – 5...6 квалитет. Съем металла $\sim 1 \text{ см}^3 / \text{мин}$. Недостаток этого метода – большой износ электрода-инструмента.

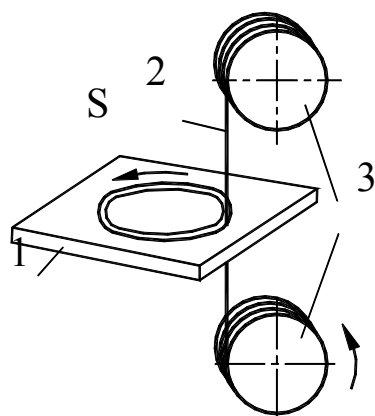


Рис. 2.81. Схема электроискровой обработки проволокой: 1 – заготовка; 2 – проволока; 3 – катушки с проволокой; S – направление рабочей подачи

В последние годы большое распространение получает электроискровой метод обработки поверхностей, в котором в качестве инструмента применяется проволока толщиной 0,025...1,5 мм (рис. 2.81). Для исключения быстрого износа проволока непрерывно перематывается с катушки на катушку. Метод реализован на оборудовании с ЧПУ, что позволяет выполнять обработку заготовок различного профиля. Данный метод применяется для получения деталей сложной формы, зубьев точных зубчатых колес, профилей механических передач с промежуточными телами качения.

Электроимпульсная обработка отличается от электроискровой тем, что на элек-

троды подается последовательность импульсов. За счет этого съем металла увеличивается до $15 \text{ см}^3 / \text{мин}$. Достижимая точность – 9...11 квалитет, шероховатость несколько хуже.

Применение электроэрозионной обработки:

- для изготовления ковочных штампов, прессформ небольших габаритов из твердых сплавов и сталей;
- для изготовления мелких сеток, гребенок и др. в радиоэлектронной промышленности;
- для изготовления отверстий с криволинейной осью;
- для нарезания резьб в твердосплавных сплавах и закаленных сталях;
- для маркирования деталей;
- для удаления обломков сверл, метчиков в ответственных деталях;
- для получения пазов и щелей малой ширины (например, раз-

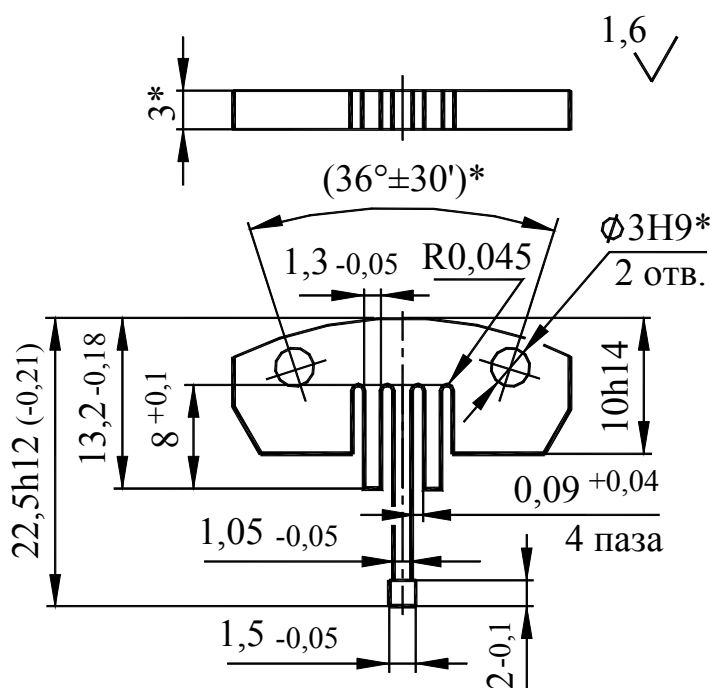


Рис. 2.82. Операционный эскиз электроискровой обработки

- резка пазов у цанг после закалки);
- разрезка заготовок из вольфрама и др.;
- разрезание рабочей части твердосплавных резцов и т.п.

Кроме электроэрозионной, иногда применяются **анодномеханическая** и **электроконтактная** обработка. Точность и шероховатость при этом ниже, чем в предыдущих случаях.

Запись **электроэрозионной (электроискровой) операции** для обработки детали по рис. 2.82 в технологической документации производится следующим образом:

18 1 105 382047 Электроискровая

Станок электроискровой 4532Ф3

А. Установить заготовку в приспособлении. База: 2 отв. Ø3Н9 и плоскость

1. Обработать деталь согласно эскизу

Электрод-проволока М4-1-А-80; Приспособление 7680-6073; Программа 80075-12379; Микроскоп УИМ-21; Инд. ИЧ 0,01; Стойка С-IV; Штангенциркуль ШЦII-150-0,05; Подставка 8026-6742-1

2.18.2. Электрохимическая

Электрохимическая обработка (рис. 2.83) основана на анодном растворении металла, с прокачкой электролита между заготовкой и электродом.

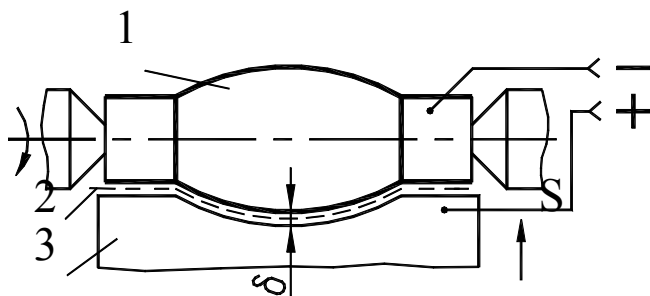


Рис. 2.83. Схема электрохимической обработки: 1 – заготовка; 2 – электролит; 3 – электрод; δ – зазор между деталью и электродом

Прокачкой электролита предупреждается осаждение металла на инструменте-катоде. Этим увеличивается срок службы электрода. Вид обработки: прошивание, точение, протягивание, разрезание, шлифование. С помощью электрохимической обработки можно обрабатывать любые металлы и их сплавы, иногда

применяется для снятия заусенцев и скругления острых кромок в ответственных деталях. Электрохимическая обработка отличается от электроэрозионной активным раствором в рабочей ванне.

Процесс электрохимической обработки является саморегулируемым. За счет увеличения зазора δ (рис. 2.83), при остановке подачи электрода, уменьшается ток между электродом и заготовкой и уменьшается скорость растворения металла. Для изготовления электрода-инструмента используют латунь, медь, титан, нержавеющую сталь, которые не подвергаются коррозии в электролите. В качестве электролита применяют растворы солей NaCl , Na_2SO_4 и другие с различными добавками.

Плотность тока в зазоре составляет $20 \dots 100 \text{ А/см}^2$ при напряжении $10 \dots 30 \text{ В}$. Величина зазора $\delta = 0,05 \dots 1 \text{ мм}$.

Инструмент при электрохимической обработке изнашивается очень мало. Профильный инструмент для прошивания отверстий используется такой же, как и при эрозионной обработке.

Преимущества (по сравнению с механообработкой):

- исключение наклепа и остаточных напряжений в поверхностном слое;
- малая величина дефектного слоя, равная 0,05...0,2 мм;
- возможность обработки металлов и сплавов любой прочности;
- возможность получения малой шероховатости поверхности $Ra = 0,08...0,02$ мкм;
- высокая стойкость инструмента.

Недостатки:

- необходимость принятия специальных мер для устранения коррозии узлов станка;
- низкая производительность ($S = 0,2...10$ мм/мин);
- вредность условий труда;
- возможность растравливания поверхностного слоя по границам зерен металла.

Для устранения растравливания в конце электрохимической обработки снижают плотность тока примерно в 10...100 раз.

Точность при электрохимической обработке достигает 7...10 качества. Шероховатость $Ra = 1,25...0,63$ мкм (при плотности тока $j = 100...20$ А/см²), $Ra = 0,08...0,02$ мкм (при $j = 30...10$ А/дм²). При электрохимической обработке быстрее растворяется металл микровыступов, что приводит к уменьшению микронеровностей при этом виде обработки.

Электрохимическое прошивание отверстий производится диаметром 0,75...5 мм и глубиной до 300...500 мм. Точность прошивки 0,05 мм. Непрямолинейность оси 0,1 мм на 100 мм длины. Подача 0,2...10 мм/мин.

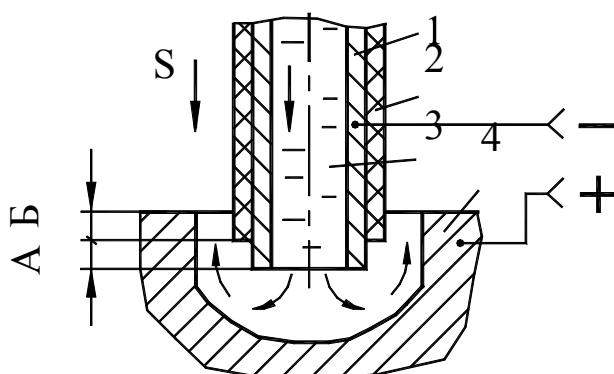


Рис. 2.84. Электрохимическая прошивка:
1 – электрод; 2 – изолятор; 3 – электролит;
4 – заготовка

Электрод покрыт изолятором на определенную длину (рис. 2.84). Растворение металла производится на участке А, не покрытом изолятором. На участке Б растворения металла уже не происходит.

2.18.3. Электроалмазное шлифование

При электроалмазном шлифовании происходит одновременное воздействие шлифования и электрического тока (рис. 2.85). Причем 90%

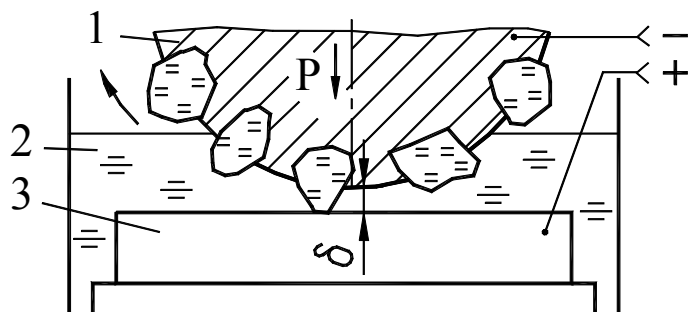


Рис. 2.85. Схема электроалмазного шлифования: 1 – шлифовальный круг; 2 – электролит; 3 – заготовка; δ – зазор; P – давление

материала удаляется за счет электрохимического растворения, а 10 % за счет срезания алмазными зернами.

Электроалмазное шлифование применяют для обработки твердых сплавов, магнитов, магнитных сплавов и других материалов. Очень эффективно при обработке хрупких материалов.

Применяют для обработки инструментов. При этом способе устраняются трещины и остаточные напряжения в поверхностном слое, что способствует повышению стойкости инструмента.

Электроалмазное шлифование позволяет в 2...3 раза увеличить производительность обработки по сравнению с алмазным шлифованием. В 8...10 раз снижается расход алмазных кругов.

При электроалмазном шлифовании используют алмазные круги на металлической связке. Плотность тока $j = 50...200 \text{ А/см}^2$ при напряжении 6...10 В. В качестве электролита используются растворы солей (обычно 2% NaNO_3 , 0,2% NaNO_2 , 2% NaF и другие компоненты). Давление P шлифовального круга не должно быть более 4...10 кгс/см^2 .

Рекомендуемые режимы резания: продольная подача 1,5...5 м/мин, поперечная – 0,01...0,05 мм/дв. ход, глубина обработки до 1,5...2 мм (при 0,05 мм для обычного шлифования), скорость резания 10...25 м/с. Точность обработки – 6...8 квалитет, шероховатость $Ra=0,16...0,32 \text{ мкм}$.

2.18.4. Лазерная обработка

Лазерная технология – это обработка и сварка материалов излучением лазера [15]. Лазер – источник электромагнитного излучения видимого, инфракрасного и ультрафиолетового диапазонов (рис. 2.86). Лазерное излучение, благодаря монохроматичности и когерентности (совпадение фаз вновь возникающего и уже распространившегося в про-

странстве излучения), может быть сфокусировано в пятно диаметром, соизмеримым с длиной волны излучения. При этом достигается гигантская концентрация излучения, необходимая для эффективной обработки металлов.

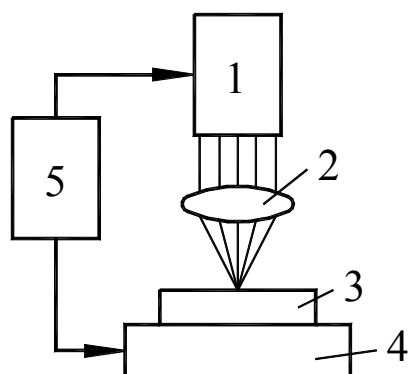


Рис. 2.86. Схема лазерной установки: 1 – лазер, 2 – оптическая система, 3 – деталь, 4 – стол, 5 – система управления

Плотность мощности достигает 10^8 Вт/см² в непрерывном режиме и до 10^{12} Вт/см² в импульсном режиме. Длительность импульса от 20 пс ($2 \cdot 10^{-9}$ с) до 20 нс ($2 \cdot 10^{-12}$ с) при КПД $\sim 3\%$.

В зависимости от интенсивности излучения лазера можно как расплавлять частицы металла, так и испарять их. Это свойство используется в мощных лазерах для резки, сверления, закалки и сварки различных материалов без возникновения в них механических напряжений, неизбежных при обычной обработке. Обрабатываются заготовки из материалов любой твердости, металлов, алмазов, рубинов. Например, прошивка алмазных фильер занимает несколько минут, против 4...10 ч при механической обработке.

Прошивка применяется для получения отверстий диаметром от нескольких микрон до десятков миллиметров и глубиной до 15 мм в первую очередь в сверхтвердых, сверхпрочных и хрупких материалах с производительностью до 300 отверстий в минуту (для мелких отверстий).

Лазерная сварка позволяет получить высококачественные соединения деталей из коррозионностойкой стали, никеля, молибдена, а также сваривать высокотеплопроводные металлы, такие как серебро, медь и другие. Скорость сварки достигает нескольких метров в минуту, причем сварной шов не уступает по прочности свариваемому металлу. Подвергшаяся тепловому воздействию зона имеет очень маленькие размеры, что в отдельных случаях имеет решающее значение. Лазерная сварка в отдельных случаях заменяет сварку электронным лучом, невозможной при остаточной намагниченности ферромагнитных сталей из-за отклонения электронного луча. Лазерная сварка заменяет и электроконтактную при сварке материалов с резко различающимися физическими свойствами (в первую очередь электрическим сопротивлением).

С помощью лазерного излучения выполняется и поверхностная термообработка (упрочнение) некоторых деталей, работающих на износ, например, шестерен, распределительных валов и т.д.

Аморфизация поверхности (остекловывание) – одна из разновидностей лазерной обработки – заключается в получении поверхностного слоя металла (на глубине нескольких микрометров) с хаотичным расположением атомов относительно друг друга. Аморфизация получается при быстром (до $10^5 \dots 10^6$ °C/с) охлаждении, когда атомы не успевают перегруппироваться в кристаллическую фазу и застывают при сохранении беспорядочного расположения атомов. Аморфизация поверхности повышает прочность материала, увеличивает коррозионную стойкость материала, устраняет поры, трещины, уменьшает шероховатость поверхности.

Широкое применение находят лазеры для раскроя и профильной резки различных материалов: дерева, фанеры, пластика, бумаги, текстильных материалов, металлов, стекла, керамики. Скорость резки последних двух материалов до 10 м/мин при толщине материала 1...5 мм. Для увеличения производительности в процесс вводят активные или инертные газы (газолазерная резка). При мощности излучателя в несколько сотен ватт можно осуществлять резку листового материала значительной толщины. При отсутствии газа мощность лазера необходимо увеличить на порядок.

На основе лазерной техники создаются автоматизированные лазерные технологические комплексы, которые можно объединить с другими видами обработки: штамповкой, механообработкой и т.п.

Недостатки лазерной технологии: необходимость в поглощающем покрытии на заготовках, повышенные требования по технике безопасности от излучения, аэрозолей, шума и т.д.

Основные технологические операции лазерной обработки:

- поверхностная термообработка;
- лазерное легирование [40];
- образование поверхностных термических напряжений (лазерное скрайбирование);
- локальный переплав;
- сварка металлических и неметаллических материалов;
- резка материалов;
- размерная обработка материалов.

2.18.5. Электронно-лучевая обработка

Основным видом электронно-лучевой обработки являются процессы, связанные с выделением теплоты в зоне взаимодействия потока электронов с заготовкой [2]. Электронный луч получается в вакууме с помощью электронной пушки и фокусируется магнитными линзами

(рис. 2.87). Рабочее напряжение между катодом и анодом 30...150 кВ.
Электронно-лучевая обработка распространена в микроэлектронике.

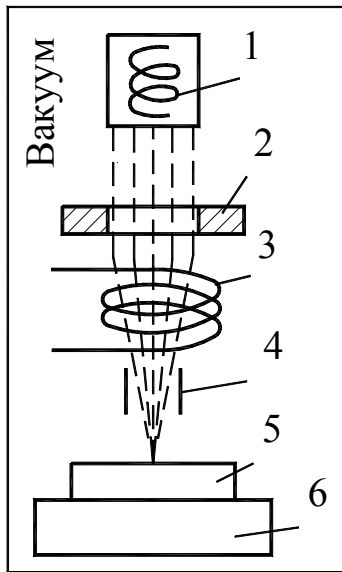


Рис. 2.87. Схема электронно-лучевой обработки:
1 – катод; 2 – анод; 3 – магнитная линза; 4 – отклоняющая система; 5 – деталь; 6 – стол

Основные технологические операции электронно-лучевой обработки:

- плавление (локальный переплав, плавка в вакууме, сварка);
- испарение (испарение в вакууме, размерная электронно-лучевая обработка, резка заготовок из полупроводниковых материалов и ферритов, прошивание в них отверстий);
- термообработка без изменения агрегатного состояния вещества.

Погрешность размеров при размерной обработке не превышает ± 5 мкм, шероховатость $Ra = 1,25$ мкм. Прошивкой получают до 500 отверстий на круге диаметром 30 мм, при толщине круга 1...3 мм.

Достоинства электронно-лучевой обработки:

- возможность за счет фокусировки луча плавно менять в широких пределах удельную энергию в зоне нагрева;
- большая мощность (от десятков ватт до единиц мегаватт);
- простота пространственного управления луча;
- наличие вакуума, как рабочей среды;
- возможность получения малоразмерной (прецизионной) зоны воздействия электронного луча на обрабатываемый материал.

Недостатки электронно-лучевой технологии:

- необходимость обеспечения высокого вакуума;
- сложность изготовления и эксплуатации электронно-лучевого оборудования.

2.18.6. Плазменная обработка

Плазменная обработка находит широкое применение в промышленности вследствие своей технологичности процесса обработки заготовок.

Плазменная обработка – это обработка материалов низкотемпературной (до $2 \cdot 10^4$ °К) плазмой, генерируемой дуговыми или низкочастотными **плазмотронами** (рис. 2.88).

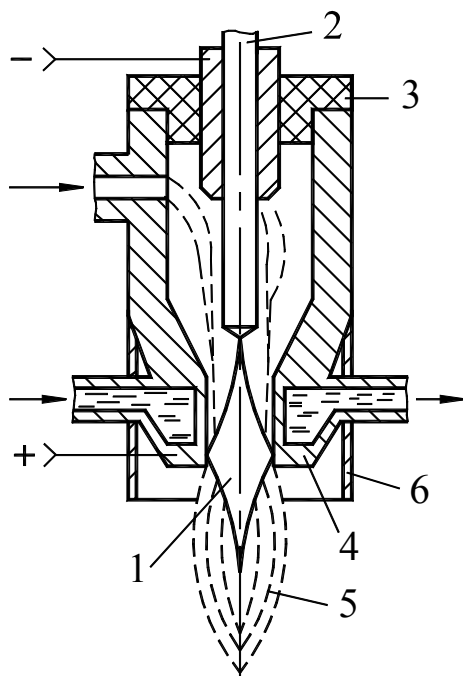


Рис. 2.88. Схема работы плазмотрона: 1 – плазменная дуга; 2 – электрод; 3 – изолятор; 4 – сопло; 5 – плазменная струя

При плазменной обработке изменяется форма, размеры, структура обрабатываемого материала или состояние его поверхностного слоя. Применяются следующие виды технологических процессов плазменной обработки:

- резка металлов;
- плазменный нагрев;
- плавка металла;
- сварка;
- наплавка;
- напыление.

Плазменная дуга хорошо режет коррозионно-стойкие и хромоникелевые стали, медь, алюминий и другие металлы и сплавы, не поддающиеся кислородной резке. Высокая производительность плазменной резки позволяет применять ее в поточных непрерывных производственных процессах.

Свойство плазменной дуги глубоко проникать в металл используется для сварки металлов. Благоприятная форма образовавшейся ванны позволяет сваривать достаточно толстый материал (до 10...15 мм) без специальной разделки кромок. Сварка плазменной дугой отличается высокой производительностью и благодаря стабильности горения дуги хорошим качеством. Маломощная плазменная дуга удобна для сварки тонких листов (0,05 мм).

Плазменная обработка часто применяется для восстановления (до 3-х мм) изношенных деталей транспортных средств, например, коленчатых и распределительных валов автомобилей.

Плазменные покрытия отличаются пониженной теплопроводностью и хорошо противостоят термическим ударам.

2.19. Ультразвуковая обработка

В основе метода лежит использование упругих механических колебаний в диапазоне $16 \cdot 10^3 \dots 10^8$ Гц для придания энергии мельчайшим

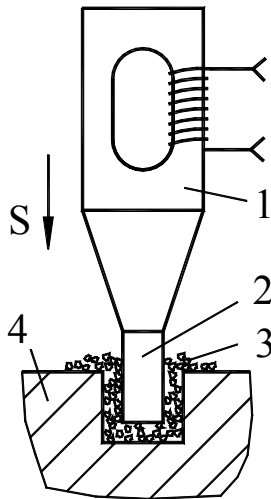


Рис. 2.89. Схема ультразвуковой обработки: 1 – преобразователь; 2 – инструмент; 3 – абразив; 4 – заготовка

частицам абразивного порошка, находящегося в суспензии, которые и производят ударные воздействия на поверхность заготовки (рис. 2.89). Смещение инструмента за период ~ 60 мкм.

Область применения ультразвуковой обработки (табл. 2.10):

- размерная обработка хрупких материалов;
- размерная обработка закаленных и жаропрочных сталей;
- придание колебательного движения рабочим органам технологических машин.

Ультразвуковые колебания (УЗК), наложенные на металлорежущий инструмент, интенсифицируют процесс резания. При этом ускоряется процесс резания и улучшается качество обработанной поверхности (рис. 2.90).

Таблица 2.10

Характеристики ультразвуковой размерной обработки отверстий в некоторых конструкционных материалах

Обрабатываемый материал	Экономическая точность обработки, мкм	Шероховатость обработанной поверхности, мкм	Относительный износ инструмента, %
Стекло, кварц, ситалл	20...100	5...1,25	0,5...1
Германий, кремний, ферриты	30...100	1,25...0,63	1...2
Керамика ЦМ332	50...100	2,5...0,63	2...10
Твердые сплавы	20...50	2,5...0,32	40...400
Закаленная сталь HRC 50...60	30...100	2,5...0,32	120...200
Жаропрочные стали	80...100	2,5...0,63	150...200

2.20. Термическая и термохимическая операции в процессе механической обработки

Термообработка предназначена для изменения каких-либо физико-механических свойств заготовки без изменения ее размеров.

Различают следующие направления термообработки:

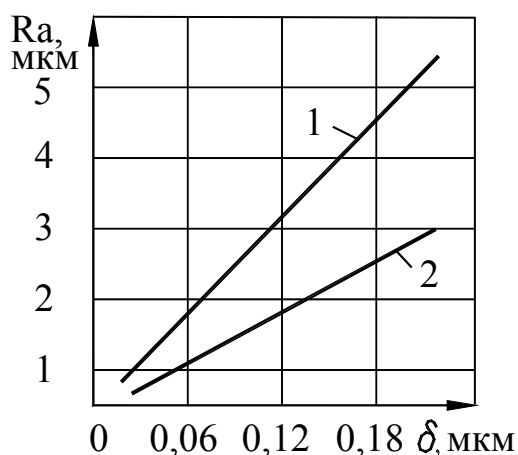


Рис. 2.90. Зависимость шероховатости поверхности от износа зубьев развертки: 1 – без УЗК; 2 – с УЗК

- упрочняющая;
- разупрочняющая;
- изменяющая физические свойства;
- технологическая.

Упрочняющая термообработка повышает механические свойства обрабатываемых деталей: твердость, прочность и износостойкость. Виды упрочняющей термообработки: закалка в одной среде, закалка в двух средах, ступенчатая закалка, изотермическая закалка [19]. После проведения упрочняющей термообработки твердость заготовки может быть настолько вы-

сокой, что обработка лезвийным инструментом, даже твердосплавным может быть невозможной. В этом случае дальнейшая обработка производится либо на шлифовальном станке, либо с помощью методов электроэрозионной обработки. Необходимо учитывать, что при закалке из-за перераспределения остаточных напряжений заготовки могут значительно изменять свою форму. Величина погрешностей зависит от материала заготовки и соотношения габаритных размеров. Чем ближе форма заготовки к шаровой, тем меньше погрешность. С увеличением длины заготовки увеличивается погрешность Δ (рис. 2.91). Для исправления погрешностей после термообработки точные поверхности всегда обрабатывают (обычно шлифованием), снимая предварительно оставленный припуск. Величина припуска зависит от материала заготовки и степени закалки.

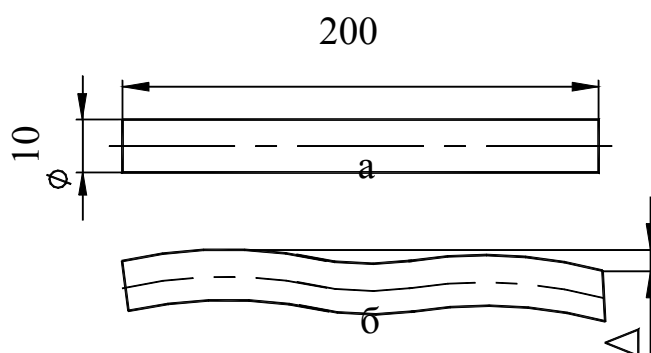


Рис. 2.91. Влияние термообработки на форму заготовки: а – до закалки, б – после закалки; $\Delta = 0,5 \dots 2$ мм для стали 45

Разупрочняющая термообработка повышает пластичность, вязкость, снижает твердость, прочность и сопротивление деформации. Виды разупрочняющей термообработки: полный отжиг, неполный отжиг, нормализация, диффузионный отжиг [19].

Термообработка, изменяющая физические свой-

ства, например, улучшающая магнитные свойства детали.

Технологическая термообработка конструктором не задается, а вводится технологом для улучшения протекания какого-нибудь вида механообработки, например повышения качества шлифования (закаленные поверхности лучше шлифуются) или нарезания резьбы резцом.

В зависимости от требований чертежа или технологических требований термообработка может вводиться на начальных, промежуточных или на заключительных стадиях техпроцесса.

В последние годы получила распространение **термообработка в вакууме**. Достоинства этого метода – отсутствие окалины и меньшие искажения формы заготовки. Термообработке могут подвергаться уже готовые детали. Метод более дорогой, чем предыдущие.

Химико-термическая обработка металлических деталей применяется с целью улучшения физико-химических и механических свойств деталей – повышение жаропрочности, износостойкости за счет изменения химического состава поверхностного слоя металла, который искусственно насыщается азотом (азотирование), алюминием (алитирование), углеродом и азотом одновременно (цианирование) с последующей закалкой и некоторыми другими элементами, сюда же относят широко распространенный процесс термической обработки – насыщение низкоуглеродистой стали углеродом (цементация) с последующей закалкой [18].

Запись термической операции (закалки) в технологической документации (маршрутной карте) выглядит следующим образом:

13 1 025 5030 *Термическая*

1. Калить заготовку согласно чертежу

2.21. Стабилизация размеров

Изделия, полученные методом механической обработки, имеют определенный набор потребительских качеств. Эти качества нестабильны во времени. При эксплуатации, при длительном хранении на изделия воздействуют как условия их работы, так и климатические условия. В результате этого детали изделия изменяют свои характеристики: механические, физико-химические, размерные и др. Для некоторых изделий такие изменения несут существенные, например, в бытовой немеханизированной мясорубке. В авиационной, космической технике нестабильность характеристик составляющих деталей приведет к отказу работоспособности изделия.

Чем большая точность изготовленных деталей, тем заметнее нестабильность их во времени.

Для точных деталей некоторые характеристики были стандартизованы. В зависимости от сохранения постоянства формы и размеров, в условиях эксплуатации, включая хранение, геометрические точности и точности взаимного расположения поверхностей детали приборов **точной механики** подразделяются на категории (табл. 2.11).

Таблица 2.11

Параметры точности в зависимости от категории

Категории деталей	Постоянство размеров детали в заданных условиях, %	Точность отклонения формы и взаимного расположения поверхностей, мм
1	$\geq 0,0050$	$\geq 0,05$
2	0,0002 – 0,0005	0,005 – 0,05
3	$\leq 0,0002$	$\leq 0,005$

В общем виде потребительские качества Q являются функцией многих параметров:

$$Q = f(M, C_3, K, T, D, B, TP, Dp),$$

где M – материал детали, C_3 – способ получения заготовки, K – климатические условия, T – температура в зоне работы детали или изделия, D – давление, B – вибрации, TP – особенности построения технологического процесса изготовления детали, Dp – другие, например ионизирующее или световое излучение.

Для получения постоянства параметров заданной точности применяются различные способы их достижения. Наиболее действенным является способ многократной термической обработки. В зависимости от требуемой точности в технологический процесс механической обработки неоднократно вводятся операции термической обработки.

Разработаны типовые технологические процессы как для заготовок из деформируемых материалов (табл. 2.12), так и для заготовок, полученных литьем.

Для заготовок, полученных литьем, добавляется дополнительная термическая обработка, следующая сразу за литейной. Критерием при определении категории точности является удельная толщина стенки детали ΔS (ГОСТ 17535-77): $\Delta S = S_{ср} / L_{max}$, где $S_{ср}$ – среднеприведенная площадь поперечного сечения детали в $мм^2$, определяемая как отношение объема детали V в $мм^3$ к периметру P поверхности детали в

Таблица 2.12

Типовые технологические процессы для высокоточных деталей из деформируемых сплавов в зависимости от категории деталей

Последовательность операций	Категория деталей		
	1	2	3
1	Получение заготовки		
2	Предварительная механическая обработка с оставлением припуска до 2,0 мм на сторону		
3	Термическая обработка по режиму 1		
4	Механическая обработка с оставлением припуска до 0,5 мм на сторону для наиболее точных размеров		
5	Отделочная операция	Термическая обработка по режиму 2	
6	Окончательная механическая обработка резанием	Отделочная операция	
7	–	Окончательная механическая обработка резанием	
8	–	–	Термическая обработка по режиму 3

плоскости расположения главных поверхностей детали в мм;
 L_{max} – наибольший габаритный размер детали, определяемый в плоскости расположения главных поверхностей детали в мм.

Для оценки размерной стабильности материалов используют следующие характеристики:

- условный предел прочности – напряжение, которое вызывает (при кратковременном нагружении) остаточную деформацию 0,005% при растяжении или 0,001% при изгибе;
- условный предел релаксации (ползучести) – напряжение, вызывающее остаточную деформацию 0,001% в условиях релаксационных испытаний в интервале 500 – 3000 ч.

Для наиболее распространенных деформируемых материалов: стали 45, стали 12X18H10T, алюминиевого сплава Д16 характеристики размерной стабильности даны в табл. 2.13.

Таблица 2.13

Сравнительные характеристики размерной стабильности

Марка стали или сплава	Наименование и режимы термической обработки	Характеристика размерной стабильности материалов	
		Условный предел упругости при 20–25°C, Н/мм ² (кгс/мм ²)	Условный предел релаксации при изгибе (95–105°C), Н/мм ² (кгс/мм ²)
Сталь 45 ГОСТ 1051–73	Закалка с +840°C в воде, отпуск при +510°C	559,2 (50,0)	392,4 – 422,0 (35,0-40,0)
12X18H10T ГОСТ 5632–72	Закалка с +1070°C в воде, деформация 50%, стабилизирующий отжиг при +350°C в течение 10 ч	637,7 (65,0)	147,2 – 174,6 (15,0-18,0)
Д16 ГОСТ 21488–76	Закалка с +500°C в воде, старение при +190°C в течение 18 ч	294,3 (30,0)	39,2 – 49,1 (4,0-5,0)

2.22. Промывочные операции

Промывочные операции проводят в следующих случаях: после окончательной механической обработки, перед определенными видами сварки, перед нанесением покрытий и др. Промывку проводят в различных средах, зависящих от материала заготовки, метода обработки, способа последующего покрытия, способа консервации и т.д. Некоторые способы консервации требуют строго определенного способа промывки. Для наиболее часто применяемых способов промывки разрабатываются типовые технологические процессы (ТПП) промывки.

Промывочная операция для стальной детали, имеющей по техпроцессу доводочную операцию, запишется следующим образом:

18 1 100

0127 Промывочная

1. Промыть по ТПП 01279–00002, опер. 001

Промежуток времени между операциями 095 Доводочная и 100 Промывочная не более 4 ч

или

для детали, имеющей центральное отверстие по 7 качеству точности с полированным посадочным местом:

19 1 085

0127 Промывочная

1. *Обдуть деталь струей сжатого воздуха до полного избавления от стружки и пыли. Струя сжатого воздуха не должна быть направлена на людей*
2. *Протереть отверстие детали салфеткой, смоченной смесью нефраса с хладоном, при помощи шомпола Ерш цеховой; шомпол; бязь отбеленная 400x400 ГОСТ 11680–76*
3. *Просушить деталь струей сжатого воздуха*
4. *Установить в отверстия бумажные заглушки, чтобы ни пыль, ни влага не попадали вовнутрь*
Бумага оберточная серая Паранайская ГОСТ 8873–75;
Лента ПВХ ГОСТ 16214–70

2.23. Покрытия

Покрытие – это слой одного материала или несколько слоев различных материалов, нанесенных на поверхность детали и адгезионно связанных с ним, для придания поверхностному слою свойств, отличных от свойств основного металла. Такими свойствами могут быть: антикоррозийные, износоустойчивые, декоративные, магнитные, электроизоляционные и др. В качестве материалов покрытий применяются оксиды, металлы, соли металлов, пластмассы, краски, лаки. Покрытия наносятся на металлы, керамику, пластмассы, стекло от нескольких десятых долей микрометра до единиц миллиметров.

Постоянно возрастающие потребности народного хозяйства в покрытиях различного назначения и разнообразие номенклатуры металлизированной продукции обусловили появление широкого класса установок, предназначенных для решения конкретных производственных задач – металлизации рулонных и полосовых материалов, нанесение защитных, износостойких, декоративных покрытий на металлические и неметаллические материалы, изготовления различных пленочных элементов изделий электронной техники.

Общие требования к покрытиям

К покрытиям предъявляются следующие требования:

- сплошность;
- равномерность;
- непроницаемость;
- высокая сцепляемость с основным металлом;
- твердость;
- износостойкость;
- коэффициент теплового расширения должен быть равен или близок коэффициенту теплового расширения основного металла.

В зависимости от конкретных требований к покрытию усиливается значение отдельных параметров.

Классификация покрытий

Все многообразие методов нанесения покрытий можно свести к 10 методам:

1. Диффузионное нанесение покрытий.
2. Наплавка.
3. Напыление.
4. Оплавление.
5. Осаждение из газовой или паровой фазы.
6. Осаждение из растворов.
7. Плакирование.
8. Погружение.
9. Припекание.
10. Электрохимическое нанесение покрытий.

Под *диффузионным нанесением покрытий* понимается химико-термическая обработка заготовок в газовых атмосферах, жидких средах (расплавах солей) и засыпках.

Под *наплавкой* понимаются методы, при которых за счет тепла внешнего источника на некоторую глубину расплавляется поверхность обрабатываемого материала, а также наносимый материал, после чего происходит их контакт и взаимодействие с образованием связи. Источниками тепла при этом могут быть пламя, электрическая дуга, плазменный шнур, искровой разряд. В отличие от плазменного напыления при плазменной наплавке изделие находится под током, а рабочий поток создается двумя дугами – дугой плазмотрона и дугой, переходящей на

изделие. В связи с этим различают следующие виды наплавки: газопламенная наплавка, плазменная наплавка, плазменно-дуговая наплавка, электродуговая наплавка, электроискровая наплавка (легирование), электрошлаковая наплавка.

Под **напылением** понимаются методы, при которых наносимый материал расплавляется в специальном аппарате, распыляется и транспортируется к заготовке струей газа. За счет высокой кинетической энергии летящих частиц (например, за счет взрыва) производится сцепление материала покрытия с поверхностью заготовки.

В качестве материала для напыления применяются порошковые материалы, выпускаемые отечественной промышленностью:

Al_2O_3 , TiO_2 , Cr_2O_3 , B_4C , WB , TiC , ZrC , TiN , NbC , ZrN , HfN и металлические порошки: W , Fe , Mo , Ni , Al , Cu .

В последние годы в России и за рубежом получают распространение композиционные порошки типа металл-металл, карбид-металл, керамика-металл, керамика-керамика, Ni-Al , Ti-Ni и др.

Различают следующие виды напыления:

- газотермическое напыление, газотермическое нанесение покрытий, имеющее подвиды: газопламенное напыление, газопламенное нанесение покрытий, пламенное напыление, детонационное напыление, детонационное нанесение покрытий, плазменное нанесение покрытий, плазменное напыление;
- нанесение покрытий взрывающимися проволочками, электрораспыление взрывающимися проволочками;
- плазмохимическое напыление покрытий;
- распыление расплавов.

Под **оплавлением** понимаются методы, при которых на покрываемую поверхность сухим или мокрым способом наносится материал покрытия, который затем расплавляют внешним источником тепла. Наибольшее распространение получили следующие виды оплавления: газопламенное оплавление, индукционная наплавка, высокочастотное оплавление, индукционное оплавление, лазерное оплавление, напайка, плазменное оплавление, радиационное оплавление, электронно-лучевое оплавление.

Под **осаждением покрытий из газовой или паровой фазы** понимается вся совокупность методов формирования покрытий из газов или паров, реализуемых как при атмосферном давлении, так и в вакууме, с протеканием химических реакций или без таковых. Наиболее известные из этих методов:

- ионная имплантация, ионное легирование;

- физическое осаждение из паровой фазы, вакуумное испарение имеют следующие подвиды – ионное распыление, катодное распыление, магнетронное распыление, индукционное испарение, лазерное испарение и распыление, электронно-лучевое испарение и распыление;
- химическое осаждение из парогазовой фазы, которое имеет подвиды: газофазное осаждение, реактивное испарение и распыление, индукционное реактивное испарение, ионно-плазменное реактивное испарение и распыление, плазменное реактивное испарение и распыление.

Под **осаждением покрытий из растворов** понимаются методы, основанные на химических реакциях покрываемых материалов или заготовок с водными растворами солей или других соединений, причем реакции протекают без применения электрического тока. Так наносят металлические покрытия, например никелевые, неметаллические, например, кислород, фосфор, комбинированные, например покрытия типа Ni-P. Различают следующие виды осаждения из растворов: жидкостное химическое нанесение покрытий, осаждение из жидкой фазы, химическое нанесение покрытий.

Под **плакированием** понимается соединение двух или более твердых материалов воедино за счет механических воздействий: взрыва, прокатки, экструзии.

Под нанесением покрытий **погружением** понимается образование на покрываемом материале или заготовке металлического или неметаллического слоя при погружении в расплав металла или неметалла, например, стекла, но не солей. Например, проводят так называемую горячую металлизацию или остекловывание.

Под **припеканием** понимают образование связи между наносимым и покрываемым материалом за счет процессов, протекающих обычно при твердофазном спекании в порошковой металлургии. При этом наносимый материал может быть в порошкообразном, пастообразном или твердом консолидированном состоянии.

Под **электрохимическим нанесением покрытий** понимаются все методы, реализуемые в водных растворах или суспензиях с применением электрического тока, т.е. гальванические и электрофоретические методы формирования слоев, включая композиционные. Наибольшее распространение получили следующие виды электрохимических покрытий:

- гальваническое нанесение покрытий, электролитическое нанесение покрытий;
- оксидирование, анодирование;
- получение композиционных электролитических покрытий;

- электрофоретическое нанесение покрытий.

Кроме перечисленных методов нанесения покрытий довольно часто в промышленности применяются **комбинированные методы**. Например, при изготовлении металлической посуды для консервирования используют двойное покрытие: сначала металлическое, затем лаковое.

Требования к поверхности основного материала

Для нанесения устойчивого покрытия, с хорошей адгезионной связью с основным материалом, необходимо перед нанесением покрытия выполнить ряд требований. Шероховатость поверхности должна быть:

- под защитные покрытия $Rz \leq 40$ мкм;
- под защитно-декоративные покрытия $Ra \leq 2,5$ мкм;
- под специальные покрытия $Rz \leq 40$ мкм;
- под электроизоляционные анодно-окисные $Ra \leq 1,25$ мкм.

На поверхности заготовки не допускаются неоднородности проката, окалина, заусенцы, поры, раковины, трещины. Поверхность заготовки после механической обработки должна быть без видимых слоев смазки или эмульсии, заусенцев и продуктов коррозии. Острые кромки и углы заготовок должны быть скруглены радиусом не менее 0,3 мм. Поверхность шлифованных и полированных деталей должна быть без видимых вмятин, рисок, заусенцев и прижогов. Поверхность литых и кованных заготовок должна быть без раковин, шлаковых включений, трещин. Швы на сварных деталях должны быть зачищены и непрерывны. Указанные требования выполняются на операциях механической обработки. Другие требования перед механообработкой согласовываются со специалистами (технологами) по покрытиям.

При нанесении покрытий необходимо учитывать их толщину, поэтому **при назначении операционных размеров вводится коррекция на толщину покрытия.**

Обозначение покрытий в технической документации

Порядок обозначения покрытий регламентируется ГОСТ 9.306–85.

В строке, обозначающей покрытие, все его элементы записываются в следующей последовательности:

1. Обозначение способа обработки основного материала (при необходимости).
2. Обозначение способа получения покрытия.

3. Обозначение материала покрытия.
4. Толщина покрытия.
5. Обозначение электролита, из которого требуется получить покрытие (при необходимости).
6. Обозначение функциональных или декоративных свойств покрытия (при необходимости).
7. Обозначение дополнительной обработки (при необходимости).

Обозначение способа получения и материала покрытия следует писать с прописной буквы, остальных со строчных. Все составляющие отделяют друг от друга точками. Толщину покрытия ≤ 1 микромметр в обозначении не указывают. Покрытия, используемые в качестве технологических (например, медное), допускаются в обозначении не указывать. Например:

Ан.Окс.прм ,

где ***Ан.*** – способ получения покрытия – анодный; ***Окс.*** – материал покрытия окисная пленка; толщина покрытия ≤ 1 мкм (так как нет данных о толщине покрытия); ***прм*** – дополнительная обработка промасливание.

Лакокрасочные покрытия

Лакокрасочные покрытия предназначены для защиты деталей от коррозии и придания товарного внешнего вида. Эти покрытия применяются при температуре не более 200°С и не должны подвергаться значительным механическим воздействиям.

Лакокрасочные материалы подразделяются на 8 групп:

- атмосферостойкие;
- стойкие внутри помещений;
- специальные;
- термостойкие;
- стойкие к различным (определенным) средам;
- электроизоляционные;
- грунтовые;
- шпатлевки.

Для повышения устойчивости против коррозии детали предварительно грунтуются. Перед окраской детали из алюминия обычно анодируются, а детали из стали, латуни оксидируются для улучшения сцепления краски с металлом.

Лаки и краски можно наносить в один или два слоя; грунт также наносят в один или два слоя. После окраски детали сушат. Время сушки

2...6 часов зависит от состава лакокрасочного покрытия и температуры сушки.

В машиностроении применяются краски и эмали черного, серебристого, голубого, желтого, защитного, белого и других цветов. Они могут быть матовыми, полуглянцевыми, глянцевыми.

Толщина лакокрасочных покрытий составляет 0,2...1,6 мкм.

Покрытия деталей машин

В машиностроении все чаще прибегают к покрытиям деталей машин. При этом преследуются различные цели, но в основе – это изменение поверхностных свойств деталей при неизменной сердцевине. Кроме изменения физических свойств – износоустойчивости, улучшения антикоррозийных свойств и др., в последние годы особое внимание уделяется товарному виду изделия, его декоративным свойствам.

Повышению конкурентоспособности способствует придание поверхностному слою деталей обычной конструкционной стали особых свойств, присущих только высоколегированным сталям или сверхтвердым и сверхпрочным металлам. Например, покрытие хромом толщиной всего 18 мкм повышает износоустойчивость обычной стали в 3 раза, сравнимой с износоустойчивостью закаленной стали У10.

Многие высокие технологии в своем составе используют однослойные и многослойные покрытия. Благодаря успехам в нанесении покрытий создаются элементы компьютерной техники: жесткие диски (винчестеры), дискеты, материнские платы и др.

Покрытие режущего инструмента

Широкое внедрение высокопроизводительных металлорежущих станков с числом оборотов шпинделя 60...100 тыс в минуту обуславливает применение режущего инструмента с высокими режущими свойствами.

Одним из путей повышения режущих свойств инструмента является нанесение износостойких покрытий.

Чаще всего используются следующие методы нанесения покрытия: физического осаждения из газовой фазы в вакууме (за рубежом известен как метод PVD, в России – КИБ), химического осаждения из газобразной фазы (ГТ), термодиффузионного насыщения (ДТ), реактивного электронно-лучевого плазменного осаждения (РЭП).

Многие исследователи отмечают достоинства и перспективность метода PVD.

Одним из перспективных способов повышения режущих свойств и стойкости инструмента является ионная имплантация. Этот вид покрытия, не изменяя структуры основного материала, существенно изменяет структуру **приповерхностного** слоя инструмента. Тонкая пленка покрытия значительно улучшает взаимодействие контактных поверхностей инструмента и обрабатываемой заготовки.

Повышение стойкости инструмента с покрытиями можно объяснить изменением следующих характеристик покрытого слоя [5]:

- повышение микротвердости поверхности инструмента способствует повышению его стойкости к абразивному износу;
- образование в поверхности инструмента химических соединений, не взаимодействующих и не смачиваемых обрабатываемым материалом, а также создание в его поверхности остаточных напряжений сжатия препятствует развитию адгезионно-усталостного износа;
- образование в поверхности инструмента химических соединений, обладающих высокой температурой устойчивого состояния и, следовательно, малой вероятностью термической диссоциации при температурах резания, препятствует развитию диффузионного и окислительного вида износа;
- эффект бомбардировки поверхности тяжелыми ионами приводит к улучшению структуры в объеме инструмента и исключению высокотемпературной ползучести как вида износа.

Исследователи отмечают изменение таких важных свойств поверхности, как твердость, прочность, коэффициент трения, износостойкость, коррозионная стойкость, образование аморфных структур и др.

Качество имплантированного слоя K зависит от многих факторов:

$$K = f(X_{И}, X_{М}, p, E, D, T, t, R),$$

где $X_{И}$ – химический состав имплантируемых ионов; $X_{М}$ – химический состав инструментального материала, p – давление в вакуумной камере; E – энергия имплантации; D – доза имплантации; T – технологические режимы имплантации; t – плотность тока ионов; R – режим имплантации (стационарный, импульсный).

При выборе высокотвердых соединений для упрочнения инструмента следует учитывать, что ряд из них может взаимодействовать с обрабатываемым материалом.

Доказано, что отрицательный эффект или отсутствие положительного эффекта при имплантации связано с получением на покрываемом материале целого ряда сопутствующих элементов, ухудшающих качество имплантированного слоя. Поэтому, при имплантации необходимо прогнозировать и учитывать:

- всю получаемую гамму химических элементов и химических соединений, образующихся на покрываемом материале;
- в области какого вида износа будет эксплуатироваться инструмент с покрытием (рис. 2.12);
- условия нагружения инструмента (черновая обработка, чистовая обработка).

«По результатам экспериментальных исследований можно рекомендовать следующие составы ионных пучков для упрочнения режущих инструментов:

1. Для фрез с ножами из сплавов группы ТК и ТТК, работающих по твердой (HRCэ 45...60) прерывистой поверхности – Al-N; при обработке сталей средней твердости – TiB₂ - N.
2. Для токарных резцов группы ТК и ТТК – TiB₂ - N.
3. Для твердых сплавов группы ВК – TiB₂ - Ar (Ne).
4. Для инструмента из быстрорежущей или углеродистой инструментальной стали – TiB₂ - N.
5. Для безвольфрамовых твердых сплавов и минералокерамики – TiB₂ с рабочим газом N или Ar в зависимости от химического состава» [5].

В ряде случаев обработки материалов резанием лимитирующими являются не процессы, происходящие на режущей кромке, а тепловыделение, связанное с большой долей работы трения (глубокое сверление, развертывание и др.). В таких случаях необходимо уменьшать коэффициент трения, например, направляющих сверла. Для этого можно рекомендовать имплантацию трущихся поверхностей дисульфидом молибдена (MoS₂), имеющего наименьший коэффициент трения (табл. 2.14).

Таблица 2.14
Характеристики покрытия [Й. Вингард]

Состав покрытия	Микротвердость, HV	T _{ок} , °C	f
TiN	1930 – 2200	600	0,5
TiC	2800 – 3000	400	-
TiCN	3000	400	0,4
TiAlN	3000 – 3500	540	0,4
TiAlCrN	3500	920	0,4
TiAlCrYN	2700	950	-
CrN	1650 – 2150	700	0,5
Al ₂ O ₃	2100 – 3000	1200	-
ZrN	2800	600	0,6
MoS ₂	1500	-	0,02

Примечание: T_{ок}, °C – стойкость к окислению; f – коэффициент трения

«При резании пластмасс, особенно металлонаполненных, причиной износа инстру-

ментов является трение на контактной поверхности. Для уменьшения износа и повышения стойкости инструмента рекомендуется имплантация трущихся поверхностей дисульфидом молибдена (MoS₂), имеющего наименьший коэффициент трения (табл. 2.14).

мента является эрозия, вызванная электрическими разрядами, сопровождающими процесс стружкообразования.

Здесь можно рассматривать два пути решения. Первый – насыщение поверхности инструмента диборидом циркония (ZrB_2), обладающего хорошей электропроводностью и высокой стойкостью к действию электрической дуги. Второй – электрическая изоляция поверхности инструмента за счет насыщения ее соединениями типа AlN или Al_2O_3 с последующим наращиванием слоя (ионная эпитаксия)» [5].

2.24. Межоперационная консервация, хранение, транспортирование

В процессе механической обработки на обрабатываемых заготовках образуются **ювенильные** (сверхчистые) поверхности, обладающие большой склонностью к коррозии. Поэтому, как в процессе дальнейшей механической обработки, так и при сборке детали необходимо предохранять от коррозии.

Средства и методы межоперационной консервации выбирают в зависимости от марки материала, вида обработки поверхности, конструктивных особенностей, последующей стадии технологического процесса изготовления детали, требуемой длительности хранения, варианта консервации готовой детали. Заготовки из разных материалов допускают различные сроки хранения без консервации (табл. 2.15).

Таблица 2.15

Допустимая длительность хранения заготовок из полуфабрикатов и деталей без средств защиты от коррозии (ГОСТ 9.028–74)

Металл	Операция обработки	Максимальная длительность хранения в условиях отапливаемого помещения, ч
Сталь (кроме нержавеющей сталей)	Дробеструйная	4
	Лезвийным инструментом, холодная штамповка	4
	Абразивным инструментом	6
	Фосфатирование, оксидирование	24
Чугун	Дробеструйная	1
	Лезвийным инструментом, холодная штамповка	2
	Абразивным инструментом	3

После травления, электрохимической обработки, виброабразивной, гидropескоструйной обработки, химического клеймения, обработки в солевых ваннах и других подобных операций обязательна немедленная противокоррозионная защита. Заготовки из коррозионностойких сталей и сплавов или защищенные коррозионностойкими покрытиями допускается межоперационной консервации не подвергать. Складирование заготовок допускается только в специальную тару, которая может видоизменяться в зависимости от стадии технологического процесса.

При назначении средств межоперационной защиты заготовки, полуфабрикаты и сборочные единицы классифицируют по 15 группам, отличающимся маркой металла, состоянием поверхности и конструктивными особенностями (ГОСТ 9.028–74).

В зависимости от стадии обработки заготовок из полуфабрикатов, деталей и сборочных единиц и проведения последующих операций для межоперационной защиты устанавливаются следующие группы защитных средств (табл. 2.16).

Таблица 2.16

Срок действия защитных средств

Защитное средство	Длительность защиты
Охлаждающие и смазочно-охлаждающие жидкости	1 – 12 сут (кроме цветных сплавов)
Водные растворы ингибиторов, защитные эмульсии	5 – 120 сут
Защитные атмосферы	Определяется степенью герметизации емкостей
Ингибитированные бумаги	3 – 12 мес
Ингибированные масла	До 1 года
Ингибированные полимерные покрытия	До 1 года

Длительность защиты определяется номером группы классификации заготовок, составом защитного средства и процентным содержанием ингибитора.

Удаление средств межоперационной защиты производится соответствующими растворителями перед использованием заготовок или по истечению установленного срока действия защитного средства. При расконсервации необходимо соблюдать правила техники безопасности при работе с применяемыми растворителями.

В межоперационный период заготовки хранятся и транспортируются в технологической таре, определяемой материалом, габаритами и точностными параметрами заготовки, способом консервации.

Технологическая тара может быть металлическая и неметаллическая (из фанеры, полистирола, винипласта, оргстекла, стекла).

Металлическая тара применяется для крупногабаритных заготовок и заготовок малой точности (литье, горячая штамповка, поковка, заготовки после черновой механической обработки и т.п.). Специальная металлическая тара может применяться для термообработки заготовок. Деревянная и винипластовая тара применяется для транспортировки и межоперационного хранения небольших заготовок, прошедших получистовую обработку. Тара может быть разделена на ячейки вставками из фанеры или винипласта. В таре из полистирола (обычной и ячеистой) транспортируются заготовки небольших размеров, прошедшие окончательную обработку и имеющие защитное покрытие, либо неподвергающиеся коррозии в пределах срока хранения (нержавеющая сталь). В эксикаторах, в защитной атмосфере, хранятся и транспортируются небольшие заготовки после точных операций механической обработки. При необходимости эксикаторы также могут быть разделены вставками из оргстекла или полистирола.

В технологическом процессе для каждой операции указывается используемая тара:

Детали хранить и транспортировать в таре 6800–6595

Тара с таким шифром имеет размеры LxVxH = 595x375x375, выполнена из фанеры и разделена на четыре ячейки.

2.25. Консервация

При обработке металлов резанием на поверхности заготовки образуются ювенильные поверхности. Через определенное время эти поверхности покрываются слоем окислов. Время окисления зависит от обрабатываемого материала и состояния окружающей среды. На одних материалах окисная пленка появляется через доли секунды, на других – через несколько часов. Если не предпринимать определенных мер по защите материала, то на поверхности материала появляется коррозия.

Консервация предназначена для защиты деталей и сборочных единиц от коррозии в процессе механической обработки, при межоперационной транспортировке и транспортировке на склад готовых деталей (СГД), хранении деталей как в цеховых кладовых, так и на складе

СГД. При консервации детали покрываются определенными консервантами и укладываются в соответствующую тару. Для каждой группы материалов применяются определенные консерванты. Наиболее распространенные способы консервации: покрытие слоем технического вазелина, обертывание ингибированной бумагой, помещение в газообразную среду ингибитора (табл. 2.17).

Таблица 2.17

Группы консервируемых материалов

Группа	Содержание ТТП 60270 - 00001	Тара	Вариант консервации	ТТП промывки
1	2	3	4	5
1	Детали из черных металлов: без защитных покрытий; с покрытием <i>Хим. нас.</i> без пропитки маслами; с полным однослойным покрытием хромом; детали <i>Хим. Окс.</i> без промасливания и с промасливанием; с химическим фосфатированием; вороненые с промасливанием и без; частично покрытые хромом, никелем, оловом	Тара	1	01279-00001 (00002)
2	Детали группы 1 точные и легкодеформируемые	Спец. тара	4, 9	01279-00001 (00002)
3	Детали из черных металлов с частичным покрытием цинком, кадмием, лакокрасочными покрытиями; детали из сплавов ВМ, ВЖ, ТКМ, ЮНДК; стали, легированные медью, алюминием	Эк- си- ка- тор или тара	3, 8, 15	01279-00002
4	Детали из черных металлов с частичным покрытием хромом, оловом, никелем	Тара	1, 4	01279-00001 (00002)
5	Детали из черных металлов и низколегированные стали, не имеющие защитных покрытий в процессе механической обработки типа Ст 3, ... сталь 35, Сталь 45	Тара	2, 1	01279-00001 (00002)

Продолжение табл. 2.17

1	2	3	4	5
6	Детали из черных металлов, легко подвергающиеся коррозии типа Ст 3, стали 35 без покрытия или с частичным покрытием хромом, оловом, никелем, Хим. Окс., цинком, кадмием	Тара или эксикатор.	7, 15	01279-00002
7	Детали из цветных металлов и сплавов с покрытием и без, кроме алюминия; магниевые сплавы с неполным покрытием; сплавы ВВД, 29НК, 36НХТЮ, детали из пермаллоя; статоры, роторы без покрытия; стали, легированные медью, алюминием.	Спецтара, эксикатор	3, 8, 10, 15	01279-00002
8	Детали типа контактных пластин из меди и медных сплавов без покрытия	Эксикатор.	5	01279-00002
9	Детали из сплава САС-1 с неполным покрытием и без покрытия	Спецтара	9	01279-00002
10	Детали, покрытые оловом или сплавом ПОС; платы печатного монтажа, покрытые сплавом Розе и без покрытия	Тара, эксикатор.	3, 8, 10	01279-00002
11	Детали из серебра, покрытые серебром, паяные серебряным припоем	Эксикатор.	10	01279-00002
13	Детали из алюминия или алюминиевых сплавов, титана и титановых сплавов с покрытием и без;	Тара	6	01279-00001 (00002)
14	Детали из любого сплава с полным гальваническим или лакокрасочным покрытием, кроме указанных в группах 1,7,11;	Тара	6	—
15	Детали из пластмасс: фторопласта, гетинакса, текстолита и др.	Тара	6	01279-00002
16	Детали из сплавов 29НК, 36НХТЮ, 50Н, 79НМ	Тара	13	01279-00002
17	Детали простой конфигурации без глубоких пазов и глухих отверстий с шероховатостью $Ra \leq 3,2$ мкм	Тара	14	01279-00002

Содержание вариантов консервации дано в приложении к табл. 2.17

Приложение к табл. 2.17

Варианты консервации

Вариант 1: Заворачивание в нитритно-уротропиновую бумагу.
Вариант 2: Окунание в 20% раствор нитрита натрия.
Вариант 3: Заворачивание в ингибированную бумагу МБГИ-8-40.
Вариант 4: Укладывание в эксикатор или специальную плотно закрывающуюся тару над нитритно-уротропиновым ингибитором.
Вариант 6: Заворачивание в парафинированную или конденсаторную бумагу деталей для защиты от пыли, механических повреждений и т.п.
Вариант 7: Комбинированная – смазывание смазками К-17, ИГ 203 с последующим заворачиванием в ингибированную бумагу.
Вариант 8: Укладывание в эксикатор или специальную плотно закрывающуюся тару над ингибитором Г-2.
Вариант 9: Укладывание в эксикатор или специальную плотно закрывающуюся тару над индикаторным силикагелем.
Вариант 10: Укладывание в эксикатор или специальную плотно закрывающуюся тару над индикаторным силикагелем без обертывания.
Вариант 13: Заворачивание в бумагу УНИБ-2.
Вариант 14: Нанесение на деталь технического вазелина и завертывание в парафинированную бумагу.
Вариант 15: Упаковка деталей в полиэтиленовый пакет с индикаторным силикагелем.

Консервация детали из сплава 07X16H6 ГОСТ 5949–75 без защитного покрытия в технологической документации запишется следующим образом:

19 1 095 0270 Консервация

1. Консервировать по ТТП 60270–00001, вариант 6

2. Детали сдать на СГД (склад готовых деталей)

или

Консервация детали из сплава 07X16H6 ГОСТ 5632–72 без защитного покрытия:

19 1 110 0270 Консервация

1. Консервировать по ТТП 60270–00001, вариант 13

2. Детали сдать на СГД (склад готовых деталей)

2.26. Контрольные операции

2.26.1. Технологические параметры точности обработки

В процессе изготовления детали на каждой последующей операции технологического процесса происходит уточнение показателей качества заготовки. Любая операция технологического процесса выполняется с определенной точностью, зависящей от многих факторов, как систематических, так и случайных.

На точность полученной на станке детали оказывают влияние параметры, связанные с неточностью получения заготовки, неточностью оборудования, оснастки, температура, возникающая при резании, износ оборудования и оснастки – **технологические параметры**. При разработке управляющих программ для станков с ЧПУ необходимо учитывать и **геометрические параметры точности**.

В общем случае погрешности обработки разделяют на теоретические и погрешности, возникающие из-за неточности работы станка.

Теоретические погрешности – погрешности, возникающие из-за заранее допущенной неточности проектирования инструмента или примененного метода обработки, использующего более упрощенную (более технологичную) схему обработки.

Погрешности обработки формируются на различных этапах технологического процесса обработки заготовки. Чем выше требования к детали, тем сложнее технологический процесс. Для получения детали заданного качества в одном технологическом процессе может быть применено несколько различных методов обработки. Каждый метод имеет свои достоинства и недостатки и имеет свои показатели качества.

При переходе от операции к операции технологического процесса производится уточнение обрабатываемой заготовки. Но, с другой стороны, каждая операция вносит свои погрешности, присущие примененному виду обработки. В общем виде суммарная погрешность определяется следующим образом:

$$\delta = f(\Delta_y, \Delta_n, \varepsilon, \Delta_u, \Delta_T, \Sigma\Delta_\phi, P, \sigma, H),$$

где Δ_y – погрешность, вызываемая упругими отжатыми элементами технологической системы, вследствие нестабильности сил резания; Δ_n – погрешность настройки станка; Δ_u – погрешность, вызываемая размерным износом инструмента; Δ_T – погрешность, вызываемая тепловыми деформациями технологической системы; $\Sigma\Delta_\phi$ – суммарная погрешность формы обрабатываемой поверхности в результате геометрических погрешностей станка и деформаций заготовки при ее закреплении из-за неравномерных упругих отжатий технологической системы в различ-

ных сечениях заготовки; Π – попадание посторонних частиц при установке детали, приспособления или инструмента; σ – перераспределение напряжений в заготовке при механической обработке; H – другие погрешности, связанные, например, с настройкой станка. В связи с тем, что в большинстве случаев составляющие Π , σ , H достаточно малы, общепринятой является функциональная зависимость, предложенная В.С. Корсаковым [25]:

$$\delta = \sqrt{(\Delta_y^2 + \Delta_n^2 + \varepsilon_y^2 + 3\Delta_u^2 + 3\Delta_T^2)} + \Sigma\Delta_\phi .$$

При определении **величины упругих перемещений** Δ_y оперируют понятием упругой системы СПИД (станок – приспособление – инструмент – деталь). Под действием сил резания происходит перемещение звеньев упругой системы, и фактический размер обрабатываемой детали будет отличаться от настроечного. Значения перемещений элементов системы СПИД зависят от жесткости упругой системы и действующих сил резания. Станки с ЧПУ отличаются повышенной жесткостью, поэтому наибольшие погрешности в системе СПИД будут зависеть от других составляющих. Например, при обработке длинных валов наибольший прирост суммарной величины Δ_y даст составляющая «деталь», при расточке глубоких отверстий наибольшей составляющей будет «инструмент».

Величину Δ_y определяют в том сечении, в котором эта величина является наибольшей.

Погрешность **настройки станка** Δ_n состоит из погрешностей настройки инструмента и приспособления. Величина погрешности, **связанной с размерным износом инструмента** Δ_n , зависит от пары режущий материал – обрабатываемый материал, метода обработки и условий обработки. Характеристикой интенсивности размерного изнашивания является относительный износ (u_0) – это размерный износ (мкм), отнесенный к 1000 м пути резания: $u_0 = 1000u/l$. Зная интенсивность изнашивания конкретного режущего материала при обработке конкретного материала заготовки, можно прогнозировать время изменения коррекции на инструмент и время его замены.

Температурные деформации технологической системы Δ_T связаны с нагревом системы СПИД в результате выделения тепла в зоне резания, из-за трения в различных узлах станка, а также поступления теплоты от внешних источников. Температура в зоне резания достигает 800...1000 °С, поэтому это основной источник теплоты. Теплота поступает из зоны плоскости сдвига, от трения по передней поверхности и от трения по задней поверхности резца. При скоростях резания более 100 – 150 м/мин (оптимальных для твердого сплава) основное тепло из зоны

резания отводится стружкой. При этом уменьшается доля теплоты, передающаяся в инструмент и изделие.

Основным средством снижения температуры в зоне резания является охлаждение. При этом возрастают требования к охлаждающей жидкости и ее очистке. Многие зарубежные фирмы применяют специальное оборудование для оптимальной очистки охлаждающей жидкости. В современном оборудовании охлаждающая жидкость поступает в зону резания под большим (10 – 20 атмосфер) давлением.

Задачей проектировщика технологического процесса является минимизация суммарной составляющей δ .

Каждый **режущий инструмент** при резании вносит свои погрешности. Так при токарной обработке основными причинами возникающих погрешностей обработки могут быть упругие и температурные деформации резца, износ инструмента. При черновой и получистовой обработке основные погрешности возникают за счет упругих деформаций системы СПИД. При чистовой обработке основные погрешности – это температурные деформации и износ инструмента. Если инструмент работает в зоне наростообразования, то можно ожидать погрешностей из-за неудовлетворительной шероховатости.

При сверлении возникают следующие погрешности: увод сверла от заданной оси, разбивка отверстия по диаметру, неудовлетворительная шероховатость поверхности обработанного отверстия, смещение оси отверстия от базовой поверхности. Увод сверла возникает из-за продольного изгиба сверла, неплотной посадки конуса сверла в шпинделе станка, непараллельности оси шпинделя направляющим станка, неперпендикулярности поверхности детали к направлению подачи

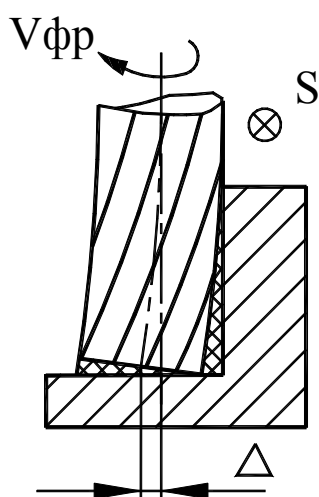


Рис. 2.92. Изгиб концевой фрезы при работе

сверла. Основные причины разбивки отверстия: несоосность осей хвостовика и рабочей части сверла, смещение оси заборного конуса относительно хвостовика, неравенство режущих кромок при заточке, биение оси шпинделя станка.

При обработке отверстий резцами основные погрешности возникают за счет изгиба державок под действием сил резания, размерного износа и температурных деформаций.

При фрезеровании концевыми фрезами наиболее частой погрешностью является отклонение оси фрезы Δ под действием сил резания (рис. 2.92). Для уменьшения данной погрешности выполняют еще один проход фрезы с толщиной срезаемого слоя 0,5...0,2 мм.

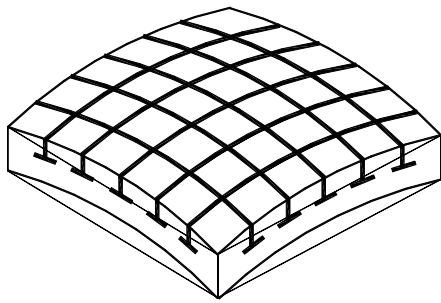


Рис. 2.93. Отклонение формы поверхностей координатной плиты

Погрешность технологической оснастки в значительной мере зависит от погрешностей компонентов приспособления (УСП). Исследования [21] показывают, что один из самых важных компонентов УСП – координатная плита, с течением времени теряет свои эксплуатационные показатели. Это связано с несовершенством технологии изготовления координатных плит.

В течение их длительной эксплуатации происходит релаксация напряжений и плита изгибается выпуклостью в сторону сетки Т-образных пазов (рис. 2.93). Выпуклость может составлять 0,3...1,4 мм. До установки приспособления на координатную плиту ее необходимо проверить на точность.

Полученная в результате технологического процесса деталь должна полностью соответствовать чертежу. Для выявления несоответствия изготовленной детали чертежу выполняют контрольные операции.

Контрольные операции назначают как после выполнения всех операций технологического процесса, так и после выполнения отдельных операций. Для контроля используют технические средства измерений.

2.26.2. Классификация средств измерения

Средства измерений – технические средства, используемые при измерениях и имеющие нормированные метрологические свойства. Средства измерений делят на меры, измерительные приборы, измерительные преобразователи, вспомогательные средства измерений, измерительные установки и измерительные системы.

Мера – средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера. В машиностроении часто используют наборы плоскопараллельных концевых мер длины и наборы угловых мер. Каждый набор имеет определенный класс точности.

Измерительные приборы – средства измерений, предназначенные для выработки сигнала измерительной информации для непосредственной визуализации. Приборы делят на универсальные, предназначенные для измерения одинаковых физических величин различных объектов, и специализированные, используемые для измерения параметров однотипных изделий (например, размеров резьб или зубчатых колес)

или одного параметра различных изделий (например, шероховатости или твердости). По принципу действия, который положен в основу измерительной системы, приборы подразделяют на механические, оптические, оптико-механические, пневматические, электрические, рентгеновские, лазерные и др.

Во многих случаях название прибора определяется конструкцией измерительного механизма. Универсальные приборы для линейных измерений с механической измерительной системой делят на штангенприборы с нониусом; микрометрические приборы с микрометрическим винтом; рычажно-механические приборы с зубчатыми, рычажно-зубчатыми и пружинными механизмами. По установившейся терминологии простейшие приборы, например штангенприборы называют также измерительным инструментом.

2.26.3. Методы и средства контроля

На производстве наиболее производительной операцией измерения является контроль. Контроль качества – проверка соответствия качества продукции установленным требованиям. При контроле проверяют, находятся ли действительные параметры изделия в допустимых пределах, но числовые значения величин не определяют. Например, определяют, укладывается ли действительный размер диаметра вала в границы допуска, указанные на чертеже. Это дает возможность увеличить производительность и снизить стоимость измерений.

Применяется два метода контроля. **Дифференцированный (поэлементный) контроль** заключается в независимой проверке каждого параметра изделия в отдельности, например контроль значений среднего диаметра, шага и половины угла профиля резьбы метчика; **комплексный контроль** – в одновременной проверке суммарной погрешности нескольких параметров, например, контроль качества резьбы изделия проходной резьбовой пробкой. Дифференцированный метод контроля позволяет установить причины брака изделий, а комплексный метод обеспечивает проверку годности изделий [8].

Для контроля геометрических параметров используются калибры.

Калибр – однозначная мера специальной конструкции, предназначенная для проверки соответствия действительных значений геометрических параметров без определения их числового значения. К ним относятся гладкие предельные калибры (пробки и скобы), резьбовые калибры, калибры конусов и шлицевых изделий, шаблоны и т.д.

Измерение линейных размеров

В мелкосерийном производстве для измерения линейных размеров наиболее распространен универсальный измерительный инструмент.

Штангенинструмент – наиболее распространенный показывающий прибор прямого действия. Цена деления 0,05 и 0,1 мм.

Штангенциркули предназначены для измерения наружных и внутренних размеров изделий, выпускаются с отсчетом по нониусу (рис. 2.94, а) и более точные с индикаторным отсчетом и с электронным цифровым отсчетом.

Штангенглубиномеры применяются для измерения глубины отверстий и пазов. При измерении необходимо учитывать ширину и толщину выдвижной штанги.

Штангенрейсмасы используются для измерения высот и разметки изделий, установленных на плите.

Микрометрические инструменты (микрометры) основаны на применении прецизионных винтовых пар. Микрометры выпускаются различного назначения с определенными диапазонами измерений 0...25, 25...50, 50...75, ..., 500...600 мм и ценой деления 0,01 мм.

Гладкие микрометры МК предназначены для измерения наружных размеров изделий.

Микрометры с циферблатом МЛ применяют для измерения толщины листов и лент.

Микрометры МТ используют для измерения толщины стенок труб с внутренним диаметром от 12 мм.

Микрометры МГ настольного исполнения имеют корпус с жестким стационарным основанием.

Микрометры с цифровым отсчетом показаний повышают качество и производительность измерений.

Микрометрический глубиномер (рис 2.94, б) позволяет производить измерение глубины отверстий и пазов с более высокой точностью, чем обычный штангенинструмент.

Рычажно-механические приборы преобразуют малые отклонения размеров изделий в удобные для отсчета перемещения стрелки по шкале. Основные типы рычажно-механических передач, используемых в приборах: зубчатые, рычажные, рычажно-зубчатые, пружинные и рычажно-пружинные.

Рычажно-механические приборы делятся на три основные группы [8]:

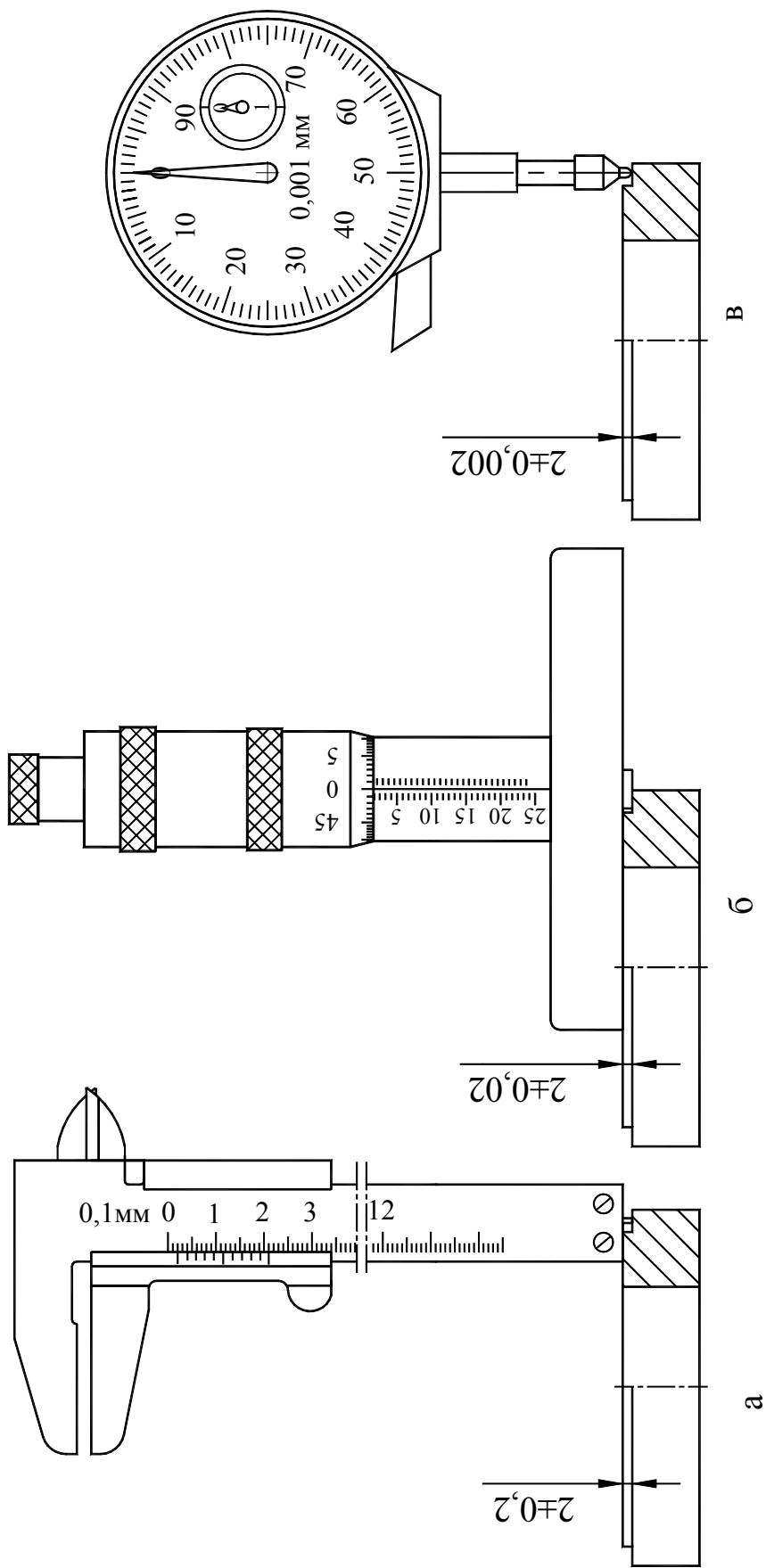


Рис. 2.94. Схемы измерения линейного размера 2 мм с различными по точности допусками:
а - штангенциркулем; б - микрометрическим глубиномером; в - индикатором

1. Измерительные головки (рис. 2.94, в) – съемные отсчетные устройства, предназначенные для оснащения приборов и контрольно-измерительных приспособлений.
2. Приборы со съемными отсчетными устройствами – индикаторные скобы, нутромеры и глубиномеры и др.
3. Приборы со встроенными отсчетными устройствами – рычажные скобы и микрометры.

Данный тип приборов применяется для измерения линейных размеров, а также отклонений размеров от заданной геометрической формы – овальности, биения, огранки, прямолинейности и т. п. Как правило, их используют для измерения методом сравнения с мерой. Если размеры изделий меньше диапазона показаний прибора, то применяют метод непосредственной оценки (рис. 2.94, в).

Измерительные головки устанавливаются на стойках или штативах, которые выполняются нескольких типов:

- стойки С-I, С-II, С-III, С-IV;
- штативы Ш-I, Ш-II, Ш-III;
- штативы с магнитным основанием ШМ-I, ШМ-II, ШМ-III.

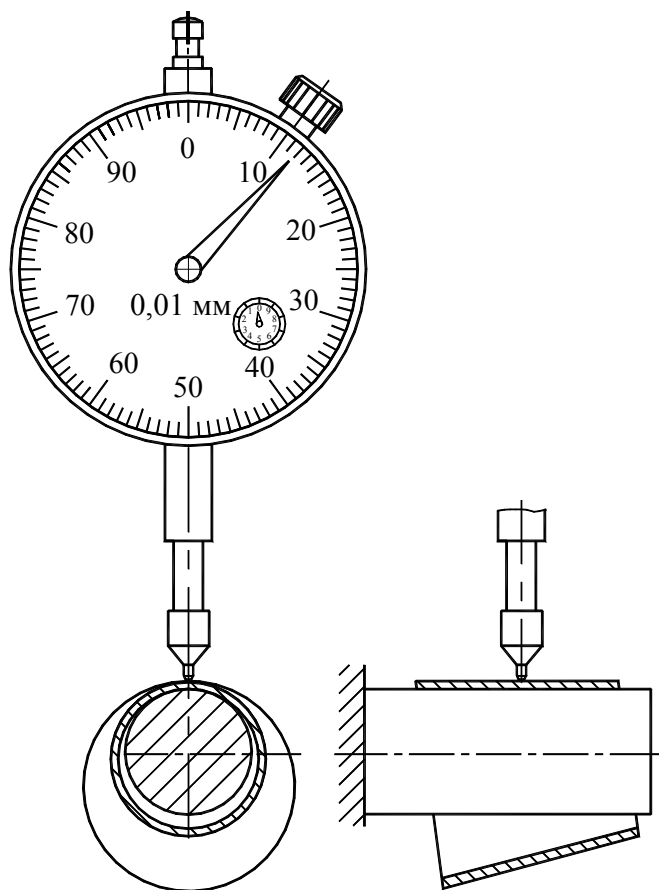


Рис. 2.95. Схема измерения толщины стенки конической втулки

Тип стойки или штатива определяется ценой деления применяемой измерительной головки: С-I – до 0,5 мкм; С-II – от 1 до 5 мкм; Ш-I, ШМ-I – от 2 до 5 мкм; С-III, Ш-II, ШМ-II – до 10 мкм; С-IV, Ш-III, ШМ-III – свыше 10 мкм.

В отдельных случаях для измерения размеров применяются специальные приспособления или УСП. Например, для измерения толщины стенки конической втулки было собрано УСП (рис.2.95). Толщина стенки определяется от наружного диаметра консолю закреп-

ленного точного стержня.

При выборе измерительного устройства необходимо учитывать его определенную точность и погрешность измерения данным устройством.

В общем, при выборе измерительных устройств, придерживаются следующего правила: **цена деления измерительного устройства должна быть в 4...5 раз меньше допуска на размер.**

Измерение угловых размеров

Углы изделий измеряют тремя основными методами:

- **методом сравнения** с жесткими контрольными инструментами – угловыми мерами, угольниками, конусными калибрами и шаблонами;
- **абсолютным гониометрическим методом**, основанным на использовании приборов с угломерной шкалой;
- **косвенным тригонометрическим методом**, который заключается в определении линейных размеров, связанных с измеряемым углом тригонометрической функцией.

К универсальным средствам измерения углов относятся нониусные, оптические и индикаторные угломеры, а также другие приборы. Углы наклона поверхностей изделий измеряют уровнями и оптически-ми квадрантами.

В мелкосерийном производстве наибольшее распространение по-

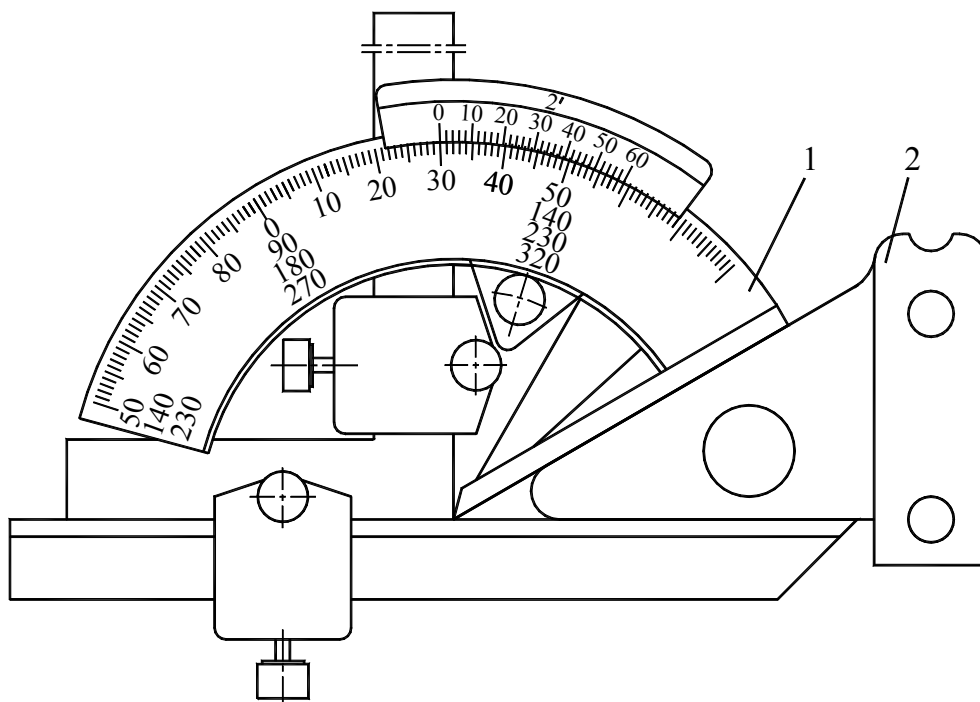


Рис. 2.96. Схема измерения угла: 1 – угломер УН; 2 – деталь

лучили универсальные средства измерения углов (рис. 2.96).

Измерение резьб

Основными контролируемыми параметрами метрической резьбы являются: угол профиля, наружный диаметр d или D , внутренний диаметр d_1 или D_1 , средний диаметр d_2 или D_2 , шаг резьбы.

Наружный диаметр d болта и внутренний диаметр D_1 гайки измеряют универсальными приборами, например, штангенциркулем, микрометром или на оптиметре. Шаг резьбы контролируют резьбовыми шаблонами.

Контроль метрической резьбы, обеспечивающей ее взаимозаменяемость, осуществляется комплексными предельными калибрами. Для внутренней резьбы применяют калибр-пробки, для наружной резьбы резьбовые калибр-кольца. При контроле резьбы комплексными предельными калибрами необходимо дополнительно измерять наружный диаметр резьбы болта и внутренний диаметр резьбы гайки.

Для более точного измерения наружных резьб применяются микрометры (для измерения среднего диаметра), микроскопы. Для измерения среднего диаметра внутренних резьб применяют индикаторные приборы с шаровыми наконечниками.

Измерение параметров зубчатых колес

Для измерения основного и окружного шага применяют: шагомер для контроля основного нормального шага, шагомер для контроля основного окружного шага.

Профиль зубьев проверяют следующими методами:

- сопоставлением действительного профиля зуба с образцовым контуром шаблона «на просвет»;
- сравнением профиля зуба, увеличенного в 10...100 раз на проекторах, с теоретическим профилем, вычерченным с тем же увеличением и помещенным на экране проектора;
- измерением на эвольвентомерах – приборах, сопоставляющих действительный профиль зуба с теоретической эвольвентой основной окружности зубчатого колеса.

При контроле параметров зубчатых колес находят применение: универсальные эвольвентомеры; биенимеры – приборы для контроля радиального биения зубчатого венца; штангензубомеры и тангенциальные зубомеры – для измерения толщины зуба и смещения исходного контура; нормалемеры – приборы для измерения длины общей нормали; универсальные контактомеры для контроля контакта зубьев; приборы для измерения кинематической погрешности зубчатых колес.

Измерение шероховатости поверхности

В простейшем случае шероховатость поверхности контролируют путем сравнения с образцами шероховатости. Для более точного контроля шероховатости применяют прибор, например, профилограф-профилометр для контактного измерения шероховатости.

Для бесконтактного измерения шероховатости используют оптические приборы – микроскопы: микроскоп светового сечения МИС-11 или микроинтерферометр МИИ-4.

Средства и методы измерения отклонений от прямолинейности и плоскостности

Форма плоских поверхностей характеризуется прямолинейностью и плоскостностью.

Отклонение от прямолинейности Δ – наибольшее расстояние от точек реального профиля 2 до прилегающей прямой 1 в пределах нормируемого участка L (рис. 2.97, а, б).

Отклонение от плоскостности – наибольшее расстояние от точек реальной поверхности 2 до прилегающей поверхности 1 в пределах нормируемого участка L (рис. 2.97, в). Частными видами отклонения от прямолинейности и плоскостности является выпуклость, при которой отклонения уменьшаются от краев к середине, и вогнутость, при которой отклонения уменьшаются от середины к краям.

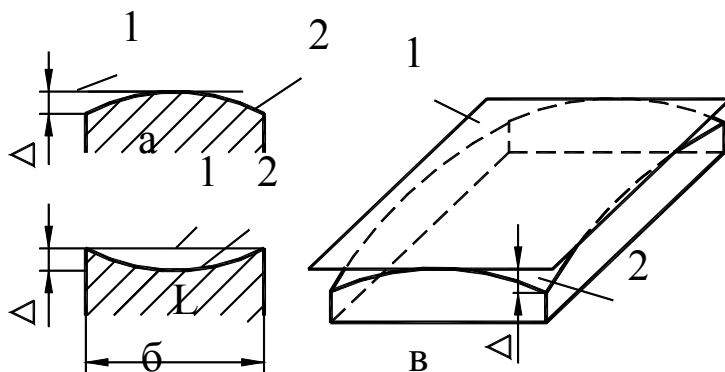


Рис. 2.97. Виды отклонений Δ [8]: а, б – от прямолинейности; в – от плоскостности

В качестве рабочих средств измерений применяют поверочные линейки и плиты, оптические линейки и плоскомеры, инструментально-поверочные блоки ИПБ, автоколлиматоры, автоматические автоколлимационные и гравитационные приборы, оптические струны, гидростатические уровни, микро-нивелиры и уровни. При контроле плоскостности измерительных поверхностей калибров, приборов и инструментов размером до 120 мм применяют плоские стеклянные пластины для интерференционных измерений. Пластины наклады-

вают на проверяемую поверхность и наблюдают интерференционную картину. Плоскостность изделий прямоугольной формы определяют по выпуклости и вогнутости интерференционных полос так же, как при проверке плоскостности концевых мер длины. Плоскостность поверхностей изделий, имеющих форму круга, определяют по числу замкнутых интерференционных колец. На рис. 2.98 число замкнутых колец равно 2, следовательно, $\Delta = 2 \times 0,3 = 0,6$ мкм.

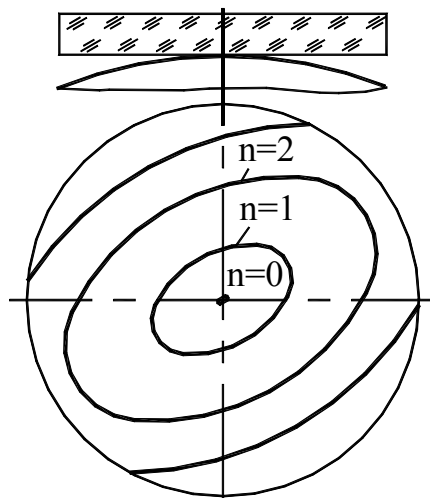


Рис. 2.98. Контроль плоскостности интерференционным методом

Измерение отклонений от формы цилиндрических поверхностей

Форма цилиндрических поверхностей характеризуется цилиндричностью, круглостью и профилем продольного сечения

(рис. 2.99).

Отклонение от цилиндричности – наибольшее расстояние Δ от

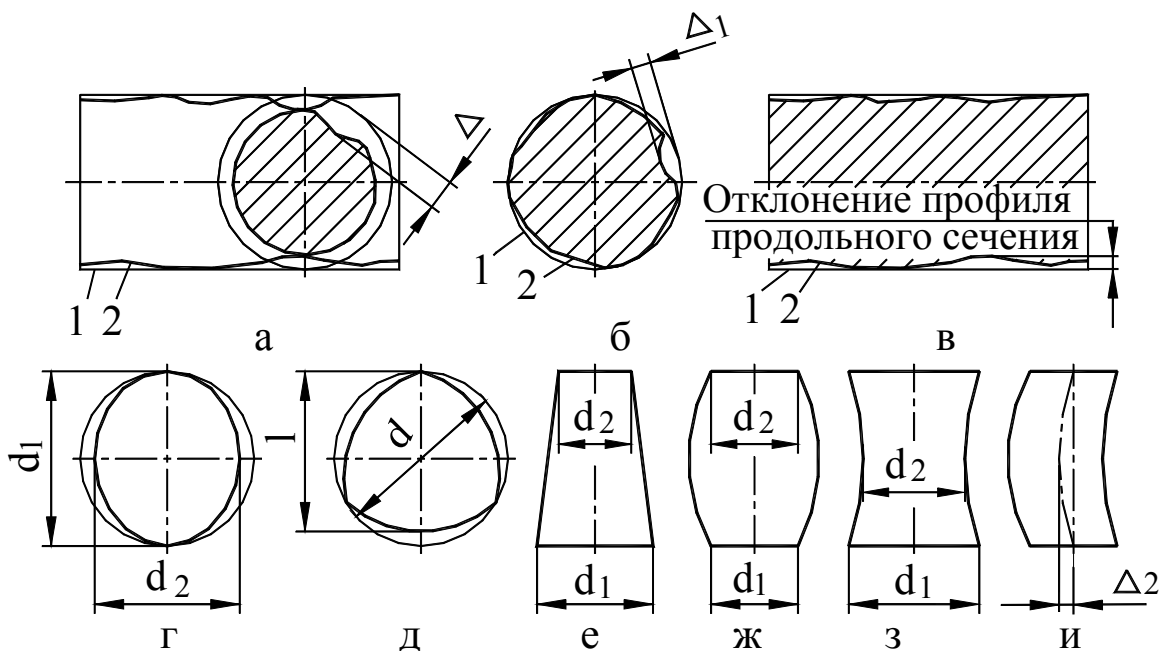


Рис. 2.99. Виды отклонений от формы цилиндрических поверхностей: а – от цилиндричности; б – от круглости; в – от профиля продольного сечения; г – овальность; д – огранка; е – конусообразность; ж – бочкообразность; з – седлообразность; и – изогнутость

точки реальной поверхности 2 до прилегающего цилиндра (рис. 2.99, а).

Отклонение от круглости – наибольшее расстояние Δ_1 от точки реального профиля 2 до прилегающей окружности 1 (рис. 2.99, б).

Отклонение от профиля продольного сечения – наибольшее расстояние от точек реального профиля до соответствующей стороны прилегающего профиля (рис. 2.99, в).

Прилегающий профиль продольного сечения цилиндрической поверхности – две параллельные прямые, соприкасающиеся с реальным профилем и расположенные вне материала так, что наибольшее отклонение точек образующей реального профиля от соответствующей стороны прилегающего профиля имеет минимальное значение.

Частным случаем отклонения от круглости является **овальность** (рис. 2.99, г).

К частным видам отклонения от профиля продольного сечения относятся конусообразность (рис. 2.99, е), бочкообразность (рис. 2.99, ж), седлообразность (рис. 2.99, з).

В некоторых случаях для оценки отклонений формы цилиндрических поверхностей в осевом направлении можно применять **отклонение от прямолинейности оси** – наименьшее значение диаметра, внутри которого располагается реальная ось поверхности вращения в пределах нормируемого участка. Примером такого типа отклонений формы является **изогнутость** (рис. 2.99, и).

Отклонения от формы цилиндрических поверхностей измеряют на специальных приборах – **кругломерах**, а также с помощью универсальных средств линейных измерений и приспособлений.

Овальность определяют по наибольшей разности диаметров в двух взаимно перпендикулярных направлениях (рис. 2.100, а). Оваль-

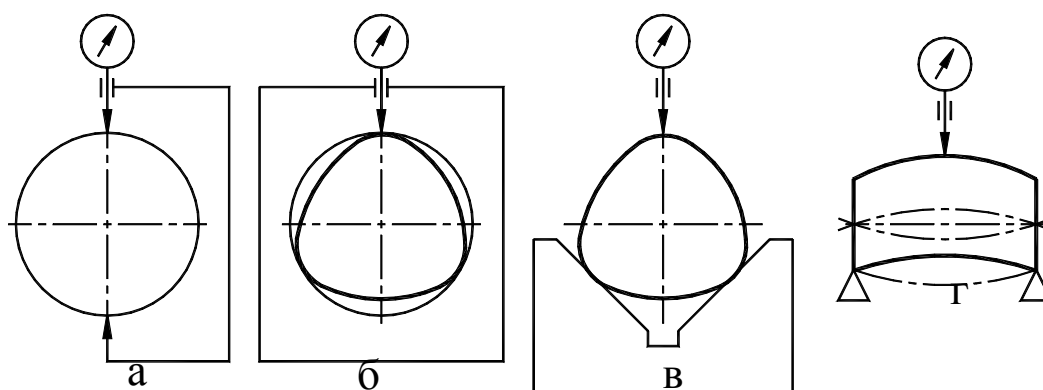


Рис. 2.100. Схемы измерений отклонений от формы цилиндрических поверхностей: а – овальность; б, в – огранки; г – изогнутости

ность равна полуразности показаний прибора. Овальность отверстий находят аналогично с помощью нутромеров.

Огранку с нечетным числом граней измеряют при установке вала в призме или кольце трехконтактным методом, при котором две точки профиля изделия соприкасаются с опорой, а одна точка – с наконечником прибора. Значение огранки определяют как наибольшую разность показаний индикатора (рис. 2.100, б, в).

Конусообразность определяют по диаметрам изделия, измеренным по краям продольного сечения, а **бочкообразность** и **седлообразность** – по краям и в середине.

Изогнутость измеряют при вращении детали на двух опорах под наконечником индикатора (рис. 2.100, г). Значение изогнутости равно полуразности наибольшего и наименьшего показаний индикатора. Для измерения отклонений от цилиндричности используют разнообразные приспособления с индикаторами.

По наибольшему допускаемому значению отклонения формы – допуску формы, цилиндрические поверхности, так же как и плоские, делятся на 16 степеней точности. Измерительные средства выбирают в зависимости от степени точности. Например, вал с номинальным значением диаметра 100 мм и поверхностью 4-й степени точности должен иметь допуск формы не более 4 мкм. Для измерений может быть использован оптиметр ОВО-1 с ценой деления 0,001 мм или индикаторная

головка с ценой деления 0,001 мм с установкой вала в центрах.

Кругломеры, предназначенные для измерения отклонения от круглости, основаны на принципе образцового вращения измерительного наконечника относительно изделия, или наоборот. При измерении происходит непрерывное ощупывание цилиндрической поверхности по окружности. После одного оборота диска на бумаге записывается круглограмма проверяемого поперечного сечения изделия (рис. 2.101). Для определения круглости на круглограмму наносится прилегающая окружность 1, касающаяся выступов

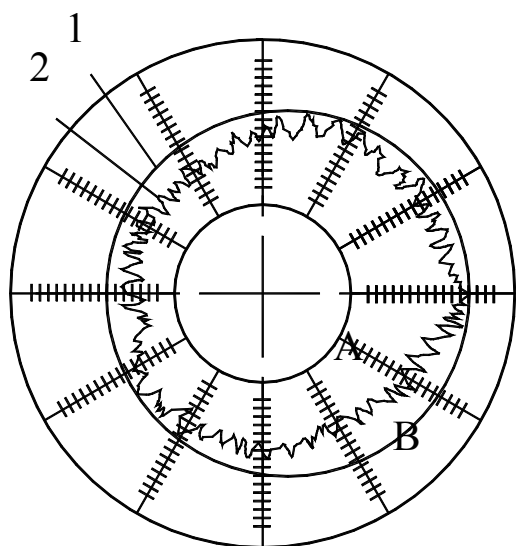


Рис. 2.101. Круглограмма: 1 – прилегающая окружность; 2 – профиль изделия

точек записанного профиля 2. Отклонение от круглости равно наибольшему расстоянию по радиусу от круглограммы до прилегающей окруж-

ности. На рис. 2.101 наибольшее расстояние АВ равно 6 делениям шкалы, а отклонение от круглости поверхности при цене деления 0,001 мм (увеличение 2000^{\times}) равно 6 мкм.

Измерение твердости

Для измерения твердости предложено много методов. Основными являются методы вдавливания наконечников в материал под действием статических нагрузок: Бринелля, Роквелла, Виккерса.

Микротвердость измеряют при небольших размерах изделия (у тонких металлических лент и покрытий, фольги, проволоки, поверхностных слоев металла, мелких изделий и т.д.), прижимая к поверхности изделия алмазные наконечники различной формы.

2.27. Нормирование

Техническое нормирование устанавливает технически обоснованную норму расхода производственных ресурсов – рабочего времени, энергии, сырья, материалов, инструментов и т. д. (ГОСТ 3.1109 – 82).

Норма времени – регламентированное время выполнения некоторого объема работ в определенных производственных условиях одним или несколькими исполнителями соответствующей квалификации.

В машиностроении за единицу объема работ, на который устанавливается норма времени, принимают операцию.

Под нормой выработки N_B понимают регламентированный объем работы, которая должна быть выполнена в единицу времени в определенных организационно-технических условиях одним или несколькими исполнителями соответствующей квалификации: $N_B = T/t$, где T – время, на которое рассчитывают норму выработки (час, смена, месяц); t – норма времени ($t_{шт}$ или $t_{шт. к}$).

Имеются три метода установления норм времени [22]: на основе изучения затрат рабочего времени наблюдением; по нормативам; сравнением и расчетом по типовым нормам. При первом методе норму времени устанавливают путем изучения затрат времени непосредственно в производственных условиях на рабочем месте. При втором методе производят расчет длительности операции, используя нормативы длительности выполнения отдельных элементов работы (операции). При третьем методе нормирование операции осуществляется приближенно с использованием типовых норм. Первые два метода нормирования чаще

применяют в серийном и массовом производствах, третий – в единичном и мелкосерийном.

При изучении затрат рабочего времени используют следующие методы: фотографию рабочего времени, хронометраж и фотохронометраж.

Фотография рабочего времени заключается в изучении затрат времени путем наблюдения и их замеров по видам на протяжении одной или нескольких смен. При этом методе главное внимание уделяют выявлению потерь рабочего времени, времени обслуживания рабочего места и времени, необходимого на отдых.

С помощью хронометража изучают затраты времени на выполнение циклически повторяющихся ручных и машинно-ручных элементов операции. Хронометраж применяют для проектирования рационального состава и структуры операции, установления их нормальной продолжительности и разработки на этой основе нормативов, которые используют при расчете технически обоснованных норм времени. Хронометраж применяют также при изучении передовых методов работы с целью их распространения.

Фотохронометраж является комбинированным методом изучения затрат рабочего времени путем наблюдения, при котором фиксируются одновременно все затраты рабочего времени в течение смены.

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

Различают подготовительно-заключительное время, основное время, вспомогательное время, оперативное время, время обслуживания рабочего места и время на личные потребности.

Подготовительно-заключительное время – интервал времени, затрачиваемый на подготовку исполнителя и средств технологического оснащения к выполнению технологической операции и приведению в порядок после окончания смены.

Основное время – часть штучного времени, затрачиваемая на изменение и последующее определение состояния предметов труда.

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

Время обслуживания рабочего места – часть штучного времени, затрачиваемая исполнителем на поддержание средств технологического оснащения в работоспособном состоянии и уход за ними и рабочим местом.

Время на личные потребности – часть штучного времени, затрачиваемая человеком на личные потребности и, при утомительных работах, на дополнительный отдых.

Штучное время $T_{шт}$ для неавтоматизированного производства состоит из элементов:

$$T_{шт} = T_0 + T_в + T_т + T_{орг} + T_{п},$$

где T_0 – основное (технологическое) время; $T_в$ – вспомогательное время; $T_т$ – время технического обслуживания рабочего места; $T_{орг}$ – время организационного обслуживания рабочего места; $T_{п}$ – время перерывов.

Основное время T_0 затрачивается на непосредственное изменение размеров, формы, физико-механических свойств или внешнего вида обрабатываемой заготовки (станочная, слесарная доводочная и другая обработка) или на соединение деталей при сборочных операциях. При обработке на станках основное время определяют расчетным методом по формуле:

$$T_0 = l_p i / S_m,$$

где l_p – расчетная длина обработки, мм (длина хода инструмента в направлении подачи); i – число рабочих ходов инструмента; S_m – минутная подача инструмента, мм/мин.

При ручном подводе инструмента расчетная длина обработки l_p представляет собой сумму собственно длины обработки l , размера врезания (недобега) инструмента $l_в$ и размера схода (перебега) инструмента $l_{сх}$:

$$l_p = l + l_в + l_{сх}.$$

Схема определения расчетной длины обработки для продольного точения, сверления, фрезерования показана на рис. 2.102.

При обработке резанием на станках с ЧПУ следует учитывать путь подхода $l_{п}$ инструмента к заготовке для облегчения работы инструмента (рис. 2.102, б, в). Расчетная длина l_p при этом увеличится:

$$l_p = l + l_{п} + l_в + l_{сх}.$$

Значения $l_{п}$, $l_в$, $l_{сх}$ определяют по нормативным таблицам или расчетным путем.

Вспомогательное время $T_в$ – время, затрачиваемое на различные действия, обеспечивающие выполнение элементов работы, которые относятся к основному времени, например на установку и снятие заготов-

ки или собираемого узла, на пуск и останов станка, на переключение режимов обработки в процессе выполнения операции, на измерение заготовок или контроль качества сборки.

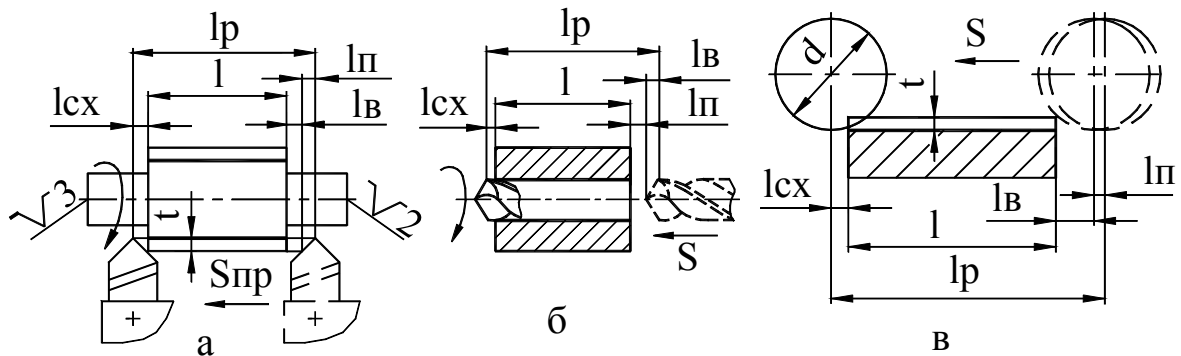


Рис. 2.102. Схемы определения расчетной длины обработки: а – продольное точение, б – сверление, в – фрезерование

В расчетах учитывается та часть вспомогательного времени, которая не перекрывается машинным временем. Вспомогательное время рассчитывается по эмпирическим формулам, в соответствии с действующими на данном предприятии нормативами, или на основе проводимого хронометража.

Часть штучного времени, равную сумме основного T_0 и вспомогательного времени T_B , называют оперативным временем $T_{оп}$:

$$T_{оп} = T_0 + T_B.$$

Оперативное время затрачивается на выполнение каждой операции и представляет собой основную часть технической нормы.

Время обслуживания рабочего места $T_{об}$ включает затраты времени на уход за рабочим местом в течение смены (смазка и чистка механизмов, раскладка и уборка инструмента в начале и в конце смены, уборка рабочего места).

Время обслуживания рабочего места устанавливают на основании нормативов и во многих случаях определяют в процентах (до 4...8%) к оперативному времени.

Штучное время рассчитывают по формуле:

$$T_{шт} = T_{оп} (1 + \alpha + \beta + \gamma),$$

где α , β , γ – коэффициенты, характеризующие, соответственно, время технического обслуживания, время организационного обслуживания и время на отдых и личные надобности.

В серийном производстве при расчете норм времени на партию заготовок необходимо учитывать подготовительно-заключительное время.

Подготовительно-заключительное время $T_{п-з}$ затрачивается рабочим перед началом обработки партии заготовок и после окончания задания. К подготовительной работе относятся: получение задания, ознакомление с работой, наладка оборудования, в том числе установка инструмента, специального приспособления; к заключительной работе относятся: сдача выполненной работы, снятие специального приспособления и режущего инструмента, приведение в порядок оборудования и т.д. Подготовительно-заключительное время зависит от сложности задания, в частности от сложности налаживания оборудования, и не зависит от размера партии.

В единичном производстве подготовительно-заключительное время включается в штучное время.

В серийном производстве норму времени на обработку партии заготовок или сборку партии сборочных единиц рассчитывают по формуле:

$$T_{п} = T_{ш}n + T_{п-з},$$

где n – размер партии.

Штучное время и подготовительно-заключительное время на выполнение операции над одной деталью образуют норму штучно-калькуляционного времени:

$$T_{ш-к} = T_{ш} + (T_{п-з}/n).$$

На основе норм времени определяют расценки выполняемых операций, рассчитывают необходимое количество оборудования для выполнения программы, осуществляют планирование производственного процесса.

Применение CAD/CAM-систем для технологической подготовки производства значительно упрощает нормирование технологического процесса: при создании модели детали становятся известными все размеры l , а другие составляющие расчетной длины l_p ($l_{п}$, $l_{в}$, $l_{сх}$) заложены в данной системе. Определение составляющих нормы времени производится автоматически.

2.28. Унификация технологических процессов

2.28.1. Типизация технологических процессов

Для применения принципов массового производства применительно к мелкосерийному и единичному производствам производят типизацию технологических процессов.

Для этого детали классифицируют на основе конструкторско-технологических признаков, затем они объединяются в некоторые однородные группы, например класс валов или класс зубчатых колес.

При этом в группе выделяют одну деталь-представитель, обладающую рядом признаков (рис. 2.103). Основными конструкторско-

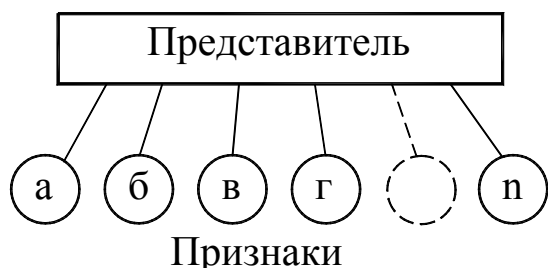


Рис. 2.103. Деталь-представитель

технологическими признаками являются: размерная характеристика, группа материала, вид исходной заготовки, характеристика массы, вид элементарных поверхностей, взаимное расположение поверхностей, отклонения формы и расположения поверхностей и качество, параметр шероховатости.

При добавлении новой детали в группу, в ней также определяется набор признаков. По набору полученных признаков деталь относят к определенному типу.

На основе единичных техпроцессов разрабатывается типовой технологический процесс. Так как типовой техпроцесс разрабатывался для детали-представителя, то для конкретной детали некоторые переходы или операции могут отсутствовать.

В типовом технологическом процессе обязательным элементом является карта применяемости, в которую заносятся все детали, обрабатываемые по этому техпроцессу. Для новой детали производится анализ ее конструкторско-технологических признаков, на основании которых производится идентификация данного технологического процесса.

Таким образом, для новой детали новый единичный техпроцесс не разрабатывается, а ее шифр заносится в карту применяемости идентифицированного типового техпроцесса.

Типовые технологические процессы разрабатываются для тех деталей, у которых имеются **незначительные конструкторско-технологические отличия**. Например, стальные винты М3х5 и М2,5х8, если у них одинаковые – автоматная (токарная), фрезерная, слесарная, термическая и гальваническая – операции, будут обрабатываться по единому типовому техпроцессу. Винт М6х8 по данному типовому техпроцессу скорее всего обрабатываться не будет, так как необходима другая модель станка-автомата и другая наладка для токарной обработки.

Преимущества типовой технологии

1. Унификация конструкции детали.
2. Унификация схем установки на станке.

3. Одинаковый маршрут обработки.
4. Унификация инструмента.
5. Одинаковое технологическое оборудование.
6. Увеличение коэффициента загрузки оборудования.
7. Сокращение сроков освоения нового изделия.
8. Типовая технология – основа рационального изготовления деталей.

2.28.2. Групповая технология

Групповое производство характеризуется совместным изготовлением групп изделий с разными конструкторскими, но общими технологическими признаками. Различают несколько методов группирования:

- по видам обработки;
- по типу технологического оборудования;
- по типу технологического оснащения;
- по общности инструментальной оснастки станка;
- по общности технологического маршрута.

В мелкосерийном производстве основным признаком классификации и группирования является общность применяемых средств технологического оснащения. При построении групповых процессов механической обработки за основу берется **комплексная деталь**.

Под комплексной деталью понимается **реальная или условная (искусственно созданная) деталь**, содержащая в своей конструкции все основные элементы, характерные для деталей данной группы (рис. 2.104), и являющаяся ее конструкторско-технологическим пред-

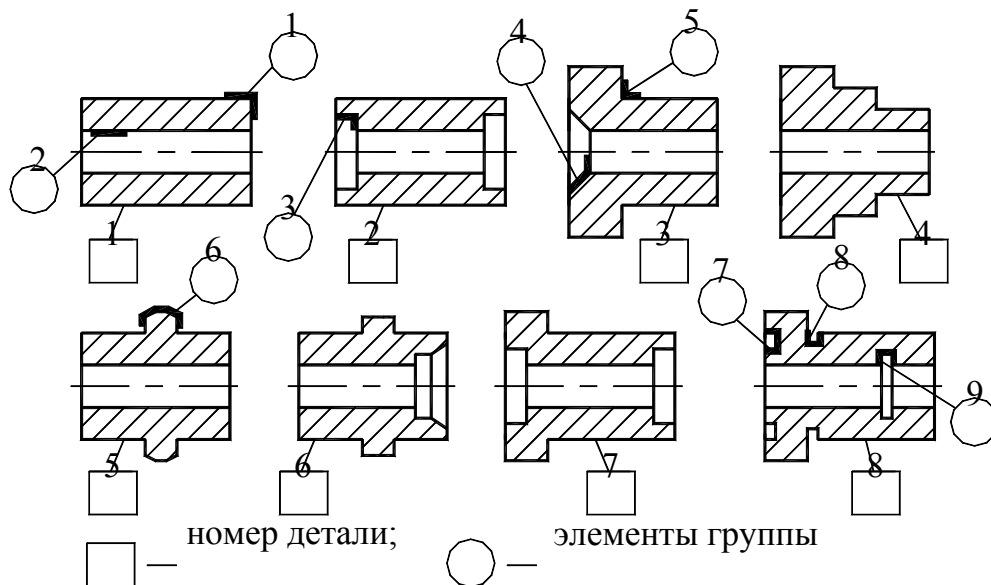


Рис. 2.104. Группа деталей

ставителем. Основные элементы служат главным признаком для отнесения детали к тому или иному классификационному подразделению.

Комплексная деталь (рис. 2.105) служит основой при разработке группового процесса и групповых оснасток.

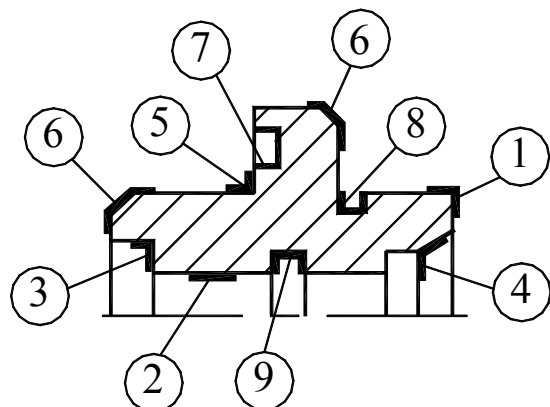


Рис. 2.105. Комплексная деталь

Основные требования по разработке групповой операции

1. Принятая последовательность переходов должна обеспечивать возможность обработки всех деталей группы.
2. Технологическая оснастка и СТО

должны быть групповыми.

3. Минимальное время на подналадку оборудования или в отдельных случаях переналадку оборудования. Необходимо предусмотреть возможность исключения подналадки из общего цикла работ.

4. Технологическая документация должна быть удобной для использования.

Схемы унификации

В зависимости от степени группирования различают 3 вида уни-

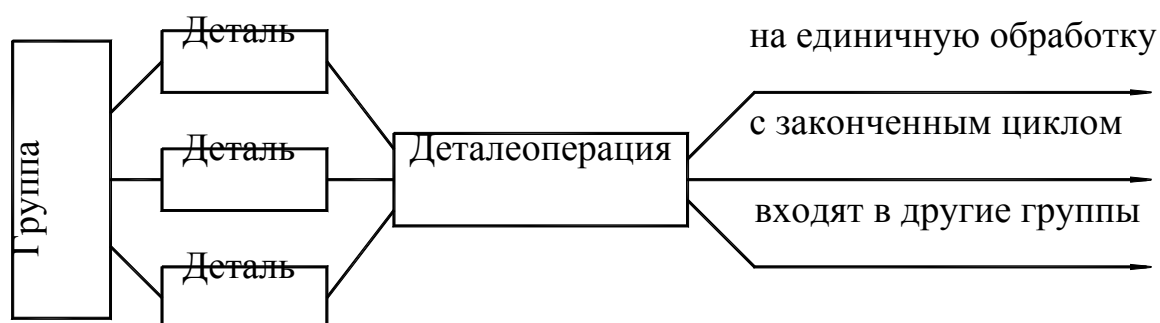


Рис. 2.106. Схема техпроцесса с одной общей операцией

фикации:

1. Групповой обработкой охвачена одна операция (рис. 2.106).

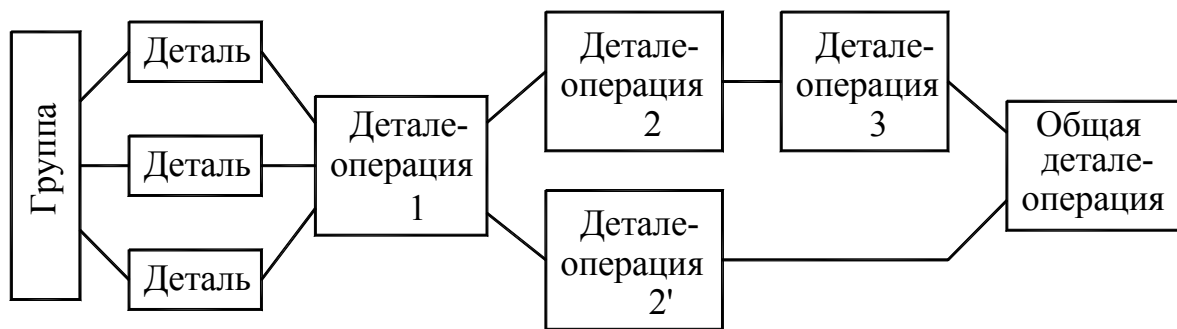


Рис. 2.107. Схема общего группового многооперационного техпроцесса

2. Детали группы имеют общий групповой многооперационный процесс (рис. 2.107).
3. На одной или нескольких операциях объединяются детали нескольких групп (рис. 2.108).

Во всех случаях производительность обработки повышается за счет специализации рабочих мест под выпуск группы, не требуется пе-

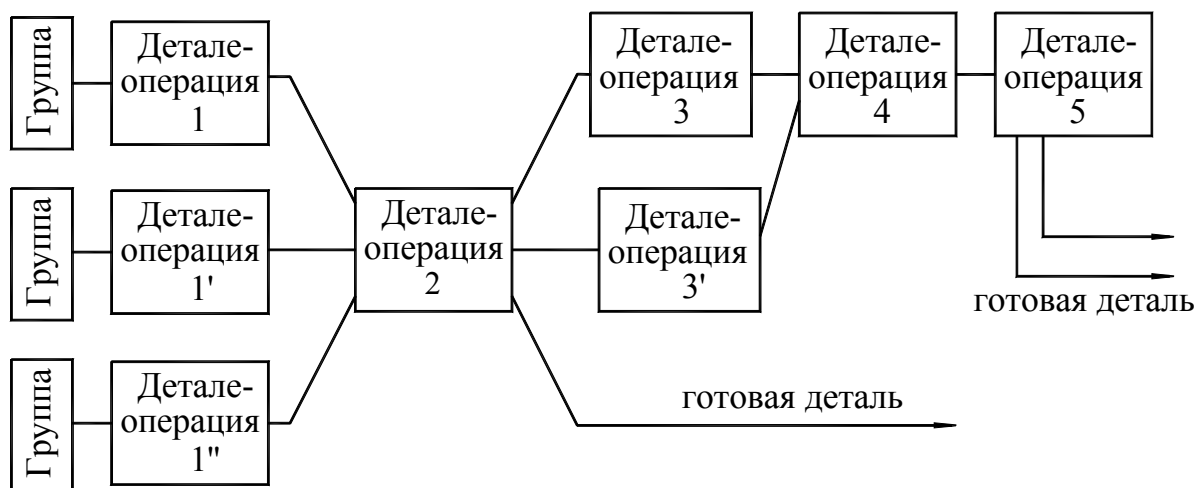


Рис. 2.108. Схема объединения групп на отдельных операциях

реналадка оборудования, а только подналадка.

Этапы работ по организации группового производства

- I. Анализ номенклатуры и производственных условий.
- II. Классификация и кодирование деталей.
 - 2.1. Группирование деталей.
 - 2.2. Унификация деталей и отработка на технологичность.
- III. Технологическое проектирование.
 - 3.1. Анализ действующих техпроцессов.

- 3.2. Разработка групповых процессов, уточнение состава групп деталей, определение видов специализированных рабочих мест.
 - 3.3. Нормирование техпроцесса.
 - 3.4. Расчет потребного количества оборудования, разработка планировок.
 - 3.5. Оформление пояснительных записок, технических проектов на создание специализированных подразделений группового производства.
 - 3.6. Выдача технического задания (ТЗ) на рабочие технологические процессы и СТО.
 - 3.7. Выдача ТЗ на разработку и модернизацию оборудования.
 - 3.8. Выдача ТЗ на проектирование и применение транспортных средств, загрузочно-разгрузочных устройств, роботов, складов и т.п.
 - 3.9. Рабочее проектирование по пунктам 2.6...2.8.
- IV. Изготовление и приобретение оборудования и СТО.
- 4.1. Комплектация, отладка, доработка оборудования и СТО.
 - 4.2. Опытно-промышленная эксплуатация систем группового производства.
 - 4.3. Корректировка технической документации по результатам п. 3.1.
 - 4.4. Промышленное внедрение.

Достоинства групповой технологии:

- повышение производительности труда;
- улучшение использования основных фондов и снижение цеховых косвенных расходов;
- уменьшение численности вспомогательного и обслуживающего персонала;
- снижение затрат на технологическое оснащение;
- уменьшение затрат на технологическую подготовку производства и общезаводских косвенных расходов.

III. Разработка технологических процессов

3.1. Принципы построения технологических процессов

Технологический процесс должен обеспечивать изготовление машины заданного качества и объема выпуска, удовлетворять требованиям высокой производительности обработки детали, наименьшей себестоимости, безопасности и облегчения условий труда.

Указанные требования отражают современную направленность машиностроительного производства – создание высокопроизводительных машин и оборудования, снижения их материало- и энергоемкости, внедрение малоотходных и безотходных технологий, уменьшение трудоемкости изготовления продукции за счет широкого внедрения различных средств автоматизации и механизации, в том числе робототехники и ГАП.

Построение технологических процессов механической обработки деталей машин основывается на ряде принципов и положений. Основными из них являются:

- технический (обеспечение заданного качества изделий);
- экономический (наивысшая производительность при полном использовании орудий труда и наименьших затратах).

Технический принцип построения технологических процессов

Сущность технического принципа при разработке технологических процессов заключается в выполнении проектных технических требований при изготовлении машин. Это означает, что должны строго соблюдаться заданные чертежом точность размеров деталей, геометрическая форма, относительное расположение поверхностей, параметры шероховатости поверхности, физико-механические свойства поверхностного слоя и другие регламентируемые технические требования. Надежность обеспечения показателей качества машины в процессе производства должна обуславливаться структурой и содержанием самого технологического процесса, совершенством применяемых методов обработки, оборудования и оснащения. На стадии разработки технологических процессов формируются предпосылки обеспечения требуемой надежности изделий. Для ее повышения при разработке технологических процессов рекомендуется использовать:

- технологические методы и режимы обработки, которые, наряду с образованием поверхностей с заданной микро- и макрогеометрией од-

новременно обеспечивают и упрочнение поверхностных слоев деталей;

- специальные операции, основной целью которых является поверхностное и объемное упрочнение деталей;
- режимы обработки, при которых не возникают дефекты, снижающие надежность деталей;
- контрольные операции для своевременного выявления дефектов обработки и их устранение при черновой обработке деталей по возможности на более ранней стадии технологического процесса.

Высокие показатели качества деталей машин достигаются путем ряда последовательно выполняемых технологических операций.

Свойства деталей формируются поэтапно – от операции к операции, поскольку для каждого способа обработки (точение, шлифование и т.п.) существуют возможности исправления исходных погрешностей заготовки и получения требуемой точности и качества обработанных поверхностей. Это объясняется, прежде всего, физической сущностью способов обработки, а также действием таких факторов, как упругие деформации системы СПИД, нагрев и пластическая деформация по-

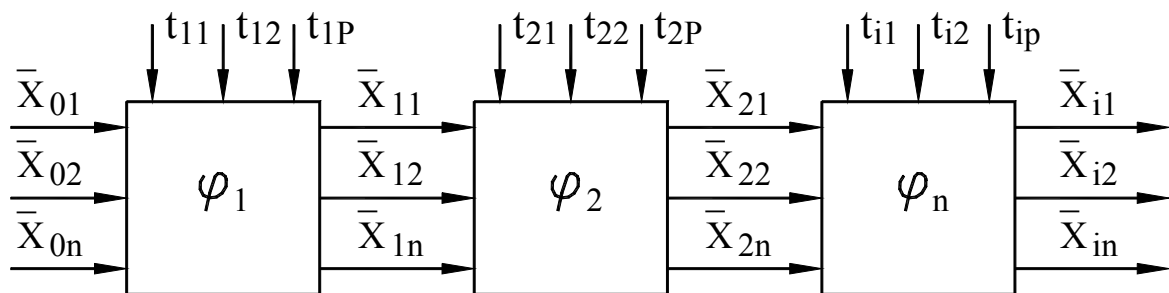


Рис. 3.1. Структурная схема технологического процесса

верхностных слоев обрабатываемых деталей и других факторов, определяющих точность и качество обработки заготовок.

Таким образом, в ходе технологического процесса прослеживается определенная закономерность, заключающаяся в постепенном уменьшении исходных погрешностей заготовки. Необходимо учитывать, что при выполнении каждой технологической операции возникают дополнительные погрешности, присущие этому методу и схеме обработки.

Общая структура технологического процесса представляет собой сложную многомерную систему, вход которой характеризуется совокупностью показателей качества заготовки, а выход – этими же показателями, прошедшими ряд преобразований при выполнении технологических операций и отражающими состояние готовой детали. При обработке партии заготовок показатели качества являются случайными ве-

личинами и могут быть описаны средними значениями или другими статистическими характеристиками.

В соответствии со структурной схемой (рис. 3.1) средние значения показателей качества заготовки $\{X_{01}, X_{02}, \dots, X_{0n}\}$ последовательности изменяются под влиянием технологических факторов $\{t_{11}, t_{12}, \dots, t_{ip}\}$, действующих на операциях $\{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_i\}$ до тех пор, пока они не примут средних значений $\{X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in}\}$, удовлетворяющих требованиям чертежа.

Из приведенной схемы последовательного формирования свойств детали при обработке вытекают следующие положения, определяющие построение технологического процесса.

1. Принцип кратчайшего пути, заключающийся в том, что обработка каждой поверхности должна производиться при минимальном числе технологических переходов и операций. Это обычно ведет к увеличению производительности обработки и уменьшению затрат на обработку.

2. Принцип совместимости последовательно выполняемых технологических переходов или операций по обработке одной и той же поверхности, заключающийся в том, что значения показателей качества на входе каждого последующего перехода (операции) должны быть равны значениям тех же показателей на выходе предыдущего перехода (операции) и соответствовать нормативным условиям выполнения данной обработки. Например, для обработки отверстий $\varnothing 20$ мм в сплошном материале с точностью по 7 качеству рекомендуется следующий набор инструментов: сверло $\varnothing 17,5$ мм, получистовой зенкер $\varnothing 19,75$ мм, черновая развертка $\varnothing 19,93$ мм и чистовая развертка $\varnothing 20$ мм. Исключение из этого набора хотя бы одного промежуточного звена не позволит обеспечить требуемые показатели качества детали и приведет к интенсивному изнашиванию или поломке инструмента.

3. Принцип уточнения заготовки в процессе обработки, заключающийся в том, что каждый последующий метод (операция или переход) должен быть точнее предыдущего, т.е. обеспечить более высокие значения показателей качества деталей.

В соответствии с этим механическая обработка деталей обычно делится на следующие этапы:

- черновая обработка, когда удаляется большая часть припуска, что обусловлено наличием дефектов заготовки;
- чистовая обработка, когда в основном обеспечивается требуемая точность;

- отделочная, когда достигается требуемая шероховатость поверхностей и окончательно обеспечивается точность детали.

Требуемое уточнение по каждому показателю качества определяется по формуле:

$$\varepsilon_{\text{дет}} = \delta_{\text{заг}} / \delta_{\text{дет}},$$

где $\delta_{\text{заг}}$, $\delta_{\text{дет}}$ – допуски на данный показатель качества, соответственно, заготовки и готовой детали.

При выполнении технологического процесса это уточнение можно записать в виде уравнения:

$$\varepsilon_{\text{дет } j} = \prod \varepsilon_{ij},$$

где ε_{ij} – уточнение j -го показателя качества, обеспечиваемое на i -й операции или на i -м переходе.

Экономический принцип построения технологических процессов

Экономический принцип заключается в минимизации затрат живого и овеществленного труда для заданного объема выпуска изделий и условий производства.

Проектирование технологических процессов имеет много вариантов. Выбор варианта определяется путем расчета приведенных затрат. Они включают единовременные (капитальные) и текущие (эксплуатационные) затраты. Следует учитывать, что снижение затрат или повышение производительности обработки на отдельно взятых операциях не всегда приводит к снижению общей себестоимости обработки детали в связи с возможным увеличением затрат на других операциях. Поэтому вопросы экономической эффективности должны рассматриваться комплексно по всему технологическому процессу.

Технологическими методами повышения производительности и снижения затрат являются:

1. Увеличение количества изделий, подлежащих изготовлению. Это позволит применить более производительное оборудование (хотя и более дорогое) и оснастку. Наряду с конструкторскими методами (конструкторская преемственность, стандартизация и унификация деталей) применяется и технологический метод (использование типовой или групповой обработки) повышения производительности обработки. Применение станков с ЧПУ расширяет возможности технологического метода.

2. Сокращение затрат на основные материалы. Это достигается уменьшением массы изделия, применением более дешевых материалов и уменьшением отходов. Уменьшение массы деталей достигается применением более высокопрочных материалов либо термообработкой (например, закалкой) обычных материалов. Вопрос о целесообразности применения для изготовления деталей машин высококачественных упрочненных материалов может быть решен только на основе полного экономического расчета, учитывающего как производственные, эксплуатационные, так и экологические расходы.
3. Сокращение затрат на выполнение технологических операций. Это достигается уменьшением слагаемых нормы штучного или штучно-калькуляционного времени, основную долю которого составляет машинное и вспомогательное время. **Машинное время** может быть уменьшено путем увеличения режимов резания. Это достигается применением высокопроизводительных режущих материалов и конструкций инструментов. Уменьшению машинного времени способствует сокращение длины рабочего хода инструмента за счет одновременной (параллельной) обработки нескольких поверхностей, а также сокращение врезания и перебега режущих инструментов. **Вспомогательное время** уменьшается благодаря применению различных средств автоматизации и механизации установки и закрепления заготовок на станках, снятия их после обработки и транспортировки на следующие по технологическому процессу позиции.

3.2. Порядок разработки технологических процессов

Разработка технологических процессов (ГОСТ 14.301–73) производится для изготовления изделий, конструкции которых отработаны на технологичность. Порядок разработки технологических процессов следующий:

1. Изучение исходных данных. Выбор оборудования.
2. Установление конструкторских и технологических баз.
3. Разработка технологического маршрута последовательности обработки.
4. Подбор типового технологического процесса.
5. Определение последовательности и содержания технологических операций.
6. Определение, выбор и заказ новых средств технологического оснащения (в том числе контроля и испытания).
7. Назначение и расчет режимов резания.
8. Нормирование процесса.

9. Определение профессий и квалификации исполнителей.
10. Выбор средств механизации и автоматизации элементов технологических процессов и внутрицеховых средств транспортирования.
11. Составление планировок производственных участков и разработка операций перемещения изделия и отходов.
12. Оформление рабочей документации на технологические процессы.

При разработке технологических процессов используются следующие виды технико-экономической информации:

1. Технологический классификатор объектов производства.
2. Классификатор технологических операций.
3. Система обозначения технологических документов.
4. Стандарты ЕСТД.
5. Типовые технологические процессы и операции.
6. Стандарты и каталоги на средства технологического оснащения.
7. Нормативы технологических режимов.
8. Материальные и трудовые нормативы.

3.3. Последовательность операций в технологическом процессе

В общем случае последовательность операций при разработке технологических процессов определяется следующими параметрами:

- технологическими и конструктивными особенностями заготовки и детали;
- возможностями оборудования и инструмента;
- эвристическими правилами.

Для обеспечения заданной точности изготовления изделия необходимо знать экономически и технически достигаемые возможности каждого метода обработки (табл. 3.1).

При разработке технологических процессов учитывают эвристические правила (табл. 3.2).

Технологический процесс разбивают на операции. **Название операций соответствует применяемому оборудованию.** Токарная операция выполняется на токарном станке, фрезерная – на фрезерном станке, фрезерная с ЧПУ – на фрезерном станке с ЧПУ и т.д. Каждой операции присваивается код по классификатору технологических операций.

Таблица 3.1

Средняя экономическая точность и шероховатость
при обработке заготовок из стали и серого чугуна

Операция	Квалитет	Шероховатость, Ra мкм
1	2	3
Наружное точение:		
предварительное	12...14	12,5
чистовое	10...12	3,2...1,6
тонкое	7...5	0,8...0,32
Торцовое точение:	15...14	12,5...6,3
черновое	13...11	5...3,2
чистовое	10...8	1,6...0,8
тонкое		
Растачивание:		
предварительное	12...14	12,5
чистовое	10...14	3,2...1,6
тонкое	7...6	1,25...0,63
Строгание		
черновое	14...12	25...12,5
чистовое	13...11	6,3...3,2
тонкое	10...8	1,6...0,8
Фрезерование		
концевой фрезой:		
предварительное	12...14	6,3
чистовое	11...10	3,2...2,5
торцовой фрезой:		
предварительное	11...14	6,3
чистовое	10...11	3,2
тонкое	9...7	1,6...0,8
цилиндрической фрезой:		
черновое	11...14	6,3
чистовое	10...11	2,5
Зубофрезерование		3,2...1,6
Шевингование		0,63...0,32
Сверление:		
до 15 мм	11	6,3...3,2
свыше 15 мм	12	10...20
Зенкерование	10...12	

Продолжение табл. 3.1

1	2	3
Развертывание: предварительное чистовое тонкое	8...12 8...7 7...6	2,5...1,6 1,25 0,8...0,4
Дорнование	7...6	0,1...0,05
Нарезание резьбы плашкой		3,2...1,6
Нарезание резьбы резцом черновое чистовое		10...3,2 1,25...0,63
Шлифование резьбы: черновое чистовое		1,25...0,63 0,4...0,16
Накатка резьбы		0,63...0,1
Протягивание отверстий чистовое отделочное	8...7 7	0,8...0,63 0,32...0,08
Шлифование наружное и внутреннее: черновое чистовое тонкое	8 7 6...5	2,5...1,25 0,63...0,32 0,16...0,08
Шлифование плоское: черновое чистовое тонкое	8...9 7 6...5	2,5...1,25 0,63...0,32 0,1...0,05
Раскатывание роликами	9...6	1,6...0,4
Притирка	6...4	0,1...0,01
Полирование		0,1...0,008
Доводка	5	0,05...0,02
Хонингование	6...8	0,1...0,4
Суперфиниширование: чистовое отделочное	5...8 5	0,1...0,4 0,08...0,02
Выглаживание алмазное	9...5	2,0...0,05
Магнито-абразивная обработка	9...5	1,6...0,02

Таблица 3.2

Основные и частные эвристические правила
для определения последовательности операций

Основное правило	Частные правила
Доступность места обработки	Фрезерование до сверления; точение до зубонарезания; точение до нарезания наружной резьбы; сверление до нарезания внутренней резьбы.
Обеспечение направления инструмента при обработке	Отверстие должно быть обработано с требуемой точностью до протягивания. Ось сверла должна быть перпендикулярна к поверхности, в которой выполняется отверстие.
Предотвращение прерывистого резания	Точение до фрезерования на деталях типа тел вращения. Наружное круглое шлифование до сверления.
Последовательность обработки координированных поверхностей	Получение плана расположения отверстий с заданными координатами и допусками.
Обеспечение точности обработки поверхностей	Тонкому точению должно предшествовать чистовое и черновое точение. Тонкому фрезерованию должно предшествовать чистовое и черновое фрезерование.
Обеспечение точности взаимного расположения поверхностей базированием	Для обеспечения параллельности обрабатываемой поверхности базовой – базовая поверхность должна быть лишена максимального числа степеней свободы: 4-х для цилиндра, 3-х для плоскости. Для обеспечения перпендикулярности обрабатываемой поверхности базовой – базовая поверхность должна быть лишена максимального числа степеней свободы: 4-х для цилиндра и 3-х для плоскости.
Обеспечение точности взаимного расположения поверхностей механической обработкой	Обработка за одну установку.
Обеспечение межосевого расстояния	Расточка после сверления.

При установлении последовательности обработки заготовки необходимо учитывать следующие рекомендации [35]:

1. Каждая последующая операция или технологический переход должны уменьшать погрешности и улучшать качество поверхности. Точность на каждом последующем переходе обычно повышается: на черновых переходах – на один-три качества, на чистовых – на один-два качества.
2. В первую очередь следует обрабатывать поверхности, которые будут служить технологическими базами при выполнении последующих операций. После этого следует обрабатывать поверхности, с которых снимается наибольший слой металла.
3. Операции, при которых возможно появление брака из-за внутренних дефектов в заготовке, необходимо производить на ранних стадиях ее обработки.
4. Технологический процесс изготовления детали заканчивается отделочной обработкой тех поверхностей, которые являются наиболее точными и имеют наиболее важное значение для эксплуатации детали, а следовательно, и для изделия.
5. Обработку поверхностей с точным взаимным расположением следует включать, по возможности, в одну операцию и выполнять за один установ.
6. Предпочтительным является технологический процесс с максимальной концентрацией переходов, как наиболее производительный. Для этой цели в единичном и мелкосерийном производстве используются станки с ЧПУ, в среднесерийном – полуавтоматы и агрегатные станки, а в крупносерийном и массовом производстве – автоматы и автоматические линии.
7. При определении последовательности выполнения черновых и чистовых переходов следует учитывать, что совмещение их в одной операции возможно только на станках повышенной жесткости, например на станках с ЧПУ или многошпиндельных автоматах.
8. Если деталь подвергается термической обработке по ходу технологического процесса, то механическая обработка расчленяется на две части: до термической обработки и после нее. Перенос механических операций из одной части в другую не рекомендуется.
9. Технологический контроль намечают после тех этапов обработки, где наиболее вероятно появление брака; перед сложными и дорогостоящими операциями; после законченного цикла; в конце обработки.

Таблица 3.3

Примерные маршруты обработки наружных цилиндрических поверхностей [46]

Последовательность операций при обработке до качества		
jT14...jT12	jT11...jT10	jT9...jT7
1, 2, 3 О 4 О , ТО 1 Ш 4 ТО , Ш		
←	{ 1, 2, 3 Оп , Оч 1, 2 О , Ш 4 Оп , Оч , ТО 4 Оп , ТО , Ш	
←	←	{ 1, 2, 3 Оп , Оч , От 1, 2 О , Ш 1 Шп , Шч 4 О , ТО , Ш 4 Шп , ТО , Ш
←	←	{ 3 Оп , Оч , ПО 3 О , ПОп , ПОч 3 Оп , Оч , От
		{ 3 Оп , Оч , ПОп , ПОч 3 Оп , Оч , От , ПОч , ПОт 4 Оп , ТО , Шп , Шт , ПО

Обозначения: **О2** обтачивание, **Ш2** шлифование, **Д2** доводка
п2 предварительное, **ч2** чистовое, **т2** тонкое;
12 незакаленные стали, **22** чугуны, **32** цветные металлы и сплавы,
Полужирным шрифтом выделены операции, формирующие

Продолжение табл. 3.3

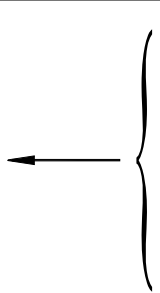
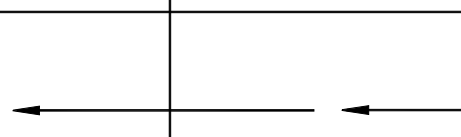
Последовательность операций при обработке до качества			
jT6	jT5	jT4...jT3	Ш*
			20...10
			5...2,5
			1,25...0,63
1, 2, 3 Оп, Оч, От , ПО 1 Оп, Шп, Шт , ПО 1 О, Ш , С 4 О, Шп, ТО, Шт 4 О, Шп, ТО, Шт , С 4 О, ТО, Шч , С	4 Оп, Оч, ТО, Шч , С 4 О, Шп, ТО, Шч, Шт , С 4 О, Шп, ТО, Шч , Д 3 Оп, Оч, От		0,32...0,16
	 1 Оп, Оч, Шп, Шч , Сп, Сч 4 Оп, Оч, ТО, Шч , Сч 4 Оп, Оч, ТО, Шч, Шт , Д 4 Оп, Оч, ТО, Шч , Дп, Дч 4 Ш, ТО, Шч , Сп, Сч		0,08...0,04
	 4 Оп, Оч, ТО, Шч, Шт , Дп, Дч, Дт 4 Ш, ТО, Шч, Шт , Дп, Дч, Дт		0,025...0,012
ПО2 полирование, С2 суперфиниширование, ТО2 термическая обработка; Ш*2 шероховатость Ra, мкм; 42 закаленные стали. погрешности расположения поверхностей.			

Таблица 3.4

Примерные маршруты обработки внутренних цилиндрических поверхностей [46]

Последовательность операций при обработке до качества		
jT14...jT12	jT11...jT10	jT9...jT7
1, 2, 3 С 1, 2, 3 З 1, 2, 3 РТ 4 С, ТО 4 З, ТО 4 РТ, ТО		
←	{ 1, 2, 4 С, 3, Р 1, 2, 3 С, 3, РТ 1, 2, 3 С, РТ, Р 4 С, 3, ТО, Ш 4 С, РТ, ТО 4 Зп, Зч, ТО, Ш	
←	←	{ 1, 2, 3 РУ, Р 1, 2, 3 С, З, Рп, Рч 1, 2, 3 С, РТп, РТч 1, 2, 3 С, 3, АР 1, 2, 3 С, П 4 С, РТ, ТО, Ш 4 РТп, Рч, ТО, Ш 4 С, 3, ТО, Ш 4 РУ, ТО, Х
	←	←
		←
Обозначения: С2 строгание, Ф2 фрезерование, П2 протягивание, О2 обтачивание торцов, Ш2 шлифование, Шб2 шабрение; 12 незакаленные стали, 22 чугуны, 32 цветные металлы и сплавы, Полужирным шрифтом выделены операции, формирующие		

Продолжение табл. 3.4

Последовательность операций при обработке до качества			
jT6	jT5	jT4...jT3	Ш*
			20...10
			5...2,5
			1,25...0,63
1, 2, 3 РУ , Рп, Рч 1, 2, 3 С , З , Рп, Рч 1, 2, 3 С , З , АРп, АРч 1, 2, 3 РТ, АРп, АРч 1, 2, 3 С , З , П 4 РТ, ТО, Ш , Х 4 С , З , ТО, Ш , Х 4 С , П , ТО, Х 4 РУ , Р, ТО, Х	4 РТ, ТО, Ш , Х, Д 4 С , З , ТО, Ш , Х, Д 4 С , П , ТО, Хч, Хч 4 РУ , ТО, Х, Д 4 С , РТ, АР , ТО, Х, Д		0,32...0,16
	← { <ul style="list-style-type: none"> 2 РУ, Х, Дп, Дч 2 С, З, ТО, Х, Дп, Дч 4 РУ, Р, ТО, Х, Дп, Дч 4 С, З, ТО, Дп, Дч 4 С, П, ТО, Х, Д 4 РТ, АР, ТО, Дп, Дч 4 С, РТ, АР, ТО, Х, Д 	4 РУ , Р, ТО, Х, Дп, Дч 4 С , З , Р, ТО, Дп, Дч 4 С , П, ТО, Х, Дп, Дч 4 РТ, АР , ТО, Дп, Дч 4 С , РТ, АР , ТО, Х, Дп, Дч	0,08...0,04
	← { <ul style="list-style-type: none"> 4 РУ, Р, ТО, Х, Дп, Дч, Дт 4 С, З, Р, ТО, Дп, Дч, Дт 4 С, П, ТО, Х, Дп, Дч, Дт 4 РТ, АР, ТО, Дп, Дч, Дт 4 С, РТ, АР, ТО, Х, Дч, Дт 		0,025...0,01
ПО2 полирование, Д2 доводка, ТО2 термическая обработка, п2 предварительное, ч2 чистовое, т2 тонкое; 42 закаленные стали; Ш*2 шероховатость Ra, мкм. погрешности расположения поверхностей.			

Таблица 3.5

Примерные маршруты обработки плоских поверхностей [46]

Последовательность операций при обработке до качества		
jT14...jT12	jT11...jT10	jT9...jT7
1, 2, 3 С 1, 2, 3 Ф 1, 2, 3 О 4 С, ТО 4 Ф, ТО 4 О, ТО		
←	{ 1, 2, 4 ТО, Шп 1, 2, 3 Фп, Фч 1, 2 Ф, Шп 4 Ф, ТО, Шп 4 С, ТО, Шп 4 О, ТО, Шп	
←	←	{ 1, 2, 3 С, П 1, 2, 3 Ф, П 1, 2 Ф, Шч 4 С, ТО, Шч 4 Ф, ТО, Шч 4 О, ТО, Шч
		3 Фп, Фч, ПОч 3 Оп, Оч, ПОч
		3 Фп, Фч, ПОч, ПОт 3 Оп, Оч, ПОч, ПОт
		←
Обозначения: С2 строгание, Ф2 фрезерование, П2 протягивание, О2 обтачивание торцов, Ш2 шлифование, Шб2 шабрение; 12 незакаленные стали, 22 чугуны, 32 цветные металлы и сплавы, Полужирным шрифтом выделены операции, формирующие		

Продолжение табл. 3.5

Последовательность операций при обработке до качества			
jT6	jT5	jT4...jT3	Ш*
			20...10
			5...2,5
1, 2 Ф, Фч, Шч 3 Фп, Фч, ПО 4 Фп, Фч, ТО, Шч 4 Оп, Оч, ТО, Шч			1,25...0,63
1, 2, 3 С, Фт, Шб 1, 2, 3 Фп, Фт, Шб 1, 2 Фп, Фч, Шч, ПО 4 Фп, Фч, Шч, Д 4 С, Фт, ТО, Шч, Д 4 Ф, ТО, Шп, Шч, Д 4 О, Шп, ТО, Шч, Д	4 С, ТО, Шч, Шт, Д 4 Ф, ТО, Шч, Шт, Д 4 Ф, Шп, ТО, Шч, Шт, Д 4 О, Шп, ТО, Шч, Шт, Д		0,32...0,16
	1, 2 Ф, Шп, Шч, Шт, ПО 4 С, ТО, Шп, Шч, Шт 4 Ф, ТО, Шп, Шч, Шт 4 Ф, ТО, Шп, Шч, Шт, Д 4 О, ТО, Шп, Шч, Шт, Д	4 С, ТО, Шп, Шч, Шт, Дп, Дч 4 Ф, ТО, Шп, Шч, Шт, Дп, Дч 4 О, ТО, Шп, Шч, Шт, Дп, Дч 4 Ф, ТО, Шп, Шч, Дп, Дч	0,08...0,04
		4 С, ТО, Шп, Шч, Шт, Дп, Дч, Дт 4 Ф, ТО, Шп, Шч, Шт, Дп, Дч, Дт 4 О, ТО, Шп, Шч, Дп, Дч, Дт	0,025...0,012

ПО2 полирование, Д2 доводка, ТО 2 термическая обработка,
п2 предварительное, ч2 чистовое, т2 тонкое;
42 закаленные стали; Ш*2 шероховатость Ra, мкм.
погрешности расположения поверхностей.

Вначале следует обрабатывать поверхность, которая будет служить установочной базой для последующих операций. Для установки на первой операции следует выбирать по возможности поверхность детали, наиболее ровную и имеющую наибольшие размеры. После обработки установочной поверхности заготовка на последующих операциях базируется на нее или на поверхности, связанные с ней. Как правило, вначале обрабатывают менее точные поверхности. Примерные маршруты обработки наружных цилиндрических поверхностей представлены в табл. 3.3, внутренних цилиндрических поверхностей – в табл.3.4, плоских поверхностей – в табл. 3.5.

3.4. Анализ чертежа детали

Рабочий чертеж детали (рис. 3.72) должен давать полное представление о детали, иметь достаточное количество проекций, разрезов и видов; размеры всех поверхностей с допусками на их выполнение; технические требования по форме и расположению поверхностей, а также по их специфическим свойствам (например, твердости поверхностного слоя и его глубине). Чертеж по оформлению должен соответствовать стандартам ЕСКД.

Технические требования на изготовление детали содержат [59]:

- предельные отклонения размеров и шероховатости поверхностей;
- допуски формы, плоскостности, некруглости и профиля сечения;
- допуски расположения, параллельности плоскостей, соосности шеек вала, симметричности профиля сечений;
- вид термической обработки и твердость рабочих поверхностей, вид покрытия;
- специфические свойства (необходимость балансировки, допустимая неуравновешенность).

При анализе чертежа детали выявляются:

- габариты детали, наиболее точные размеры, минимальный допуск формы поверхности, минимальный допуск взаимного расположения поверхностей, конструкторская база (поверхность, от которой определена основная часть размеров), наименьшее значение шероховатости поверхности, вид термообработки, покрытие детали, которые определяют заключительный метод и маршрут обработки заготовки;
- обоснованность назначения требований, исходя из эксплуатационных условий, характеристик машины или сборочной единицы;

- возможности достижения заданной точности и качества, других технических требований известными и имеющимися на предприятии технологическими методами механической обработки;
- возможность проверки выполнения назначенных рабочим чертежом требований к поверхностям известными методами контроля.

3.5. Анализ технологичности конструкции детали

Под технологичностью конструкции понимают совокупность свойств конструкции изделия, проявляемых в возможности оптимальных затрат труда, средств, материалов и времени при технологической подготовке производства, изготовлении, эксплуатации, ремонте и утилизации по сравнению с соответствующими показателями однотипных конструкций изделий того же назначения, при обеспечении установленных значений показателей качества и принятых условиях изготовления, эксплуатации, ремонта и утилизации. Таким образом, конструкция технологична, если при принятом типе и организации производства, заданной программе, повторяемости выпуска и применяемых технологических процессах она будет обладать наименьшей трудоемкостью и себестоимостью в процессе изготовления, удобной и надежной в эксплуатации, простой в ремонте, дешевой и экологически чистой при утилизации.

Технологичность конструкции для разных типов производства (массового, серийного, единичного) будет различной. Технологичность конструкции закладывается в процессе проектирования с ориентацией на определенный тип производства. В начале анализа технологичности выполняют технологический контроль технической документации, дают оценку уровня технологической документации, производят отработку конструкции на технологичность, при необходимости вносят изменения в конструкторскую документацию (рис. 3.2).

Технологичные конструкции изделий должны обладать высокими качественными и количественными показателями. К качественным



Рис. 3.2. Обеспечение технологичности конструкции изделия

показателям относят:

- **взаимозаменяемость** – свойство конструкции составной части изделия, обеспечивающее возможность ее применения вместо другой, без дополнительной обработки, с сохранением заданного качества изделия, в состав которого она входит;
- **регулируемость** – свойство конструкции изделия, обеспечивающее возможность и удобство ее регулирования при сборке, техническом обслуживании и ремонте для достижения или поддержания работоспособности;
- **контролепригодность** – свойство конструкции изделия, обеспечивающее возможность, удобство и надежность ее контроля при изготовлении, испытании, техническом обслуживании и ремонте;
- **инструментальная доступность** – свойство конструкции изделия, обеспечивающее свободный доступ к ее поверхности при изготовлении, контроле, испытании, техническом обслуживании и ремонте.

Различают четыре основных показателя технологичности:

- **трудоемкость** изготовления изделия (мин)

$$T_{и} = \sum T_{ie} n_{ie} + \sum T_{ид} n_{ид} + T_{сб} + T_{ис},$$

где T_{ie} – трудоемкость изготовления i -й сборочной единицы;

n_{ie} – количество i -х сборочных единиц; $T_{ид}$ – трудоемкость изготовления i -й детали (не вошедшей в состав при подсчете T_{ie}); $n_{ид}$ – количество i -х деталей; $T_{сб}$ – трудоемкость общей сборки изделия; $T_{ис}$ – трудоемкость испытаний;

- **уровень технологичности конструкции** по трудоемкости

$$K_{ут} = 1 - T_{и} / T_{би},$$

где $T_{и}$ – расчетная трудоемкость изготовления изделия; $T_{би}$ – базовый показатель трудоемкости изготовления, мин;

- **технологическая себестоимость** (руб.)

$$C_{и} = C_{м} + C_{з} + C_{цр},$$

где $C_{м}$ – стоимость материалов заготовок, затраченных на изготовление изделия, руб.; $C_{з}$ – заработная плата производственных рабочих с начислениями, руб.; $C_{цр}$ – цеховые расходы, включающие расходы на силовую электроэнергию, ремонт и амортизацию оборудования и оснастки, наладку оборудования и оснастки, смазочные, охлаждающие и обтирочные материалы, руб.;

- **уровень технологичности конструкции по себестоимости изготовления**

$$K_{yc} = 1 - C_{и} / C_{би},$$

где $C_{и}$ – рассчитанная технологическая себестоимость изготовления, руб.;

$C_{би}$ – базовый показатель технологической себестоимости изготовления изделия, руб.

Кроме основных, имеются дополнительные технико-экономические показатели, характеризующие значения отдельных составляющих основных показателей.

Большое значение имеют и технические показатели технологичности конструкции, которые необходимо определять в процессе анализа технологичности и сопоставлять с нормативами, разработанными в Единой системе технологической подготовки производства – ЕСТПП. Наиболее важные из них, вычисляемые в виде коэффициентов: унификации изделия, унификации сборочных единиц изделия, унификации деталей изделия, повторяемости деталей в изделии, унификации конструктивных элементов, сборности, перспективного использования в других изделиях, точности обработки, шероховатости, применения материала, использования материала, использования заготовки.

Анализируют изделия на технологичность для того, чтобы определить возможность получения заготовок прогрессивными методами и применить эти методы для обработки и сборки, контроля и испытаний, использовать типовые технологические процессы и их механизацию и автоматизацию, выявить удобство (приспособленность) изделия в эксплуатации и его технического обслуживания, повысить долговечность и обеспечить надежность в работе, сократить трудоемкость ремонтов, обеспечить транспортабельность и требования технической безопасности. Кроме того, для детали нужно определить [14]:

- могут ли конструкторские базы быть использованы, как измерительные, так и технологические, что позволит повысить точность изготовления за счет уменьшения погрешностей базирования;
- являются ли поверхности детали однотипными, позволяющими уменьшить число операций, переходов, оснастки и оборудования для их обработки;
- позволяет ли простановка размеров обеспечить точность функциональных параметров деталей и методов их достижения;
- возможно ли использование метода получения заготовок, обеспечивающего ряд поверхностей с точностью и шерохова-

тостью, не требующих дальнейшей обработки, и ряд поверхностей, требующих обработки с малыми припусками, что позволит сократить объем и трудоемкость механической обработки;

- возможно ли применение высокопроизводительных процессов, позволяющих снизить трудоемкость и стоимость обработки;
- обеспечена ли четкая принадлежность конструкции детали к определенной классификационной группе, на представителя которой составлен типовой технологический процесс, что позволит сократить технологическую подготовку производства и использовать наиболее производительное оборудование и технологическую оснастку;
- возможна ли групповая обработка детали.

Количественную оценку технологичности производят по вышеуказанным техническим показателям.

Количество технических и технико-экономических показателей должно быть минимальным, но достаточным для возможности оценки технологичности конструкции.

3.6. Выбор заготовки и метода ее получения

Выбор заготовки оказывает непосредственное влияние на возможность рационального построения технологического процесса изготовления как отдельных деталей, так и машины в целом, способствует снижению удельной металлоемкости и уменьшению отходов. Исходя из необходимости **максимального приближения формы и размеров заготовки к параметрам готовой детали**, следует применять прогрессивные методы и способы получения заготовок, такие как литье по выплавляемым моделям, литье в оболочковые формы, литье под давлением, штамповка в закрытых штампах, поэлементная штамповка, периодический прокат и др.

Оптимальный вариант при выборе заготовки для изготовления конкретной детали определяется сравнительным технико-экономическим анализом. Чем больше заготовка приближена к форме и размерам готовой детали, тем дороже обходится заготовка. Такие заготовки экономически выгодны только в крупносерийном и массовом производстве.

В крупносерийном и массовом производстве, для снижения доли механообработки и повышения производительности, применяют специальное оборудование – деталепрокатные станки. Этот тип оборудования получает распространение в последние годы для снижения удельного

веса механообработки и замены ее, например, способами холодного давления (прокатка валов, зубчатых колес, втулок, сверл).

Методы порошковой металлургии позволяют в ряде случаев исключить механическую обработку или выполнять ее в малом объеме. Для реализации этого метода необходимо специальное производство.

В качестве заготовок для деталей в мелкосерийном производстве обычно применяется недорогой полуфабрикат – прокат: круг, пруток, труба, лист, уголок, швеллер. В случае если диаметр круга недостаточен для получения детали, то применяют поковки. Если материал круга позволяет выполнять ковку, то можно отрезать заготовку от круга, а затем подвергнуть ковке.

Иногда в чертеже заранее оговаривается способ получения заготовки – литье. В этом случае заготовку обычно отливают. Но при несложной форме детали возможен другой вариант – изготовление детали механообработкой из сортового проката. При этом необходимо получить согласие заказчика на замену способа получения заготовки.

Если размеры или форма проката и поковки не позволяют получить деталь, то применяют литье в землю, литье по выплавляемым моделям или другие, не требующие дорогостоящего оборудования.

Довольно часто в мелкосерийном производстве в качестве заготовки используется сварная конструкция, позволяющая экономить дорогостоящий материал.

Прокат, полученный с завода-изготовителя, имеет большие габариты. Установить такие заготовки на обычные станки не представляется возможным.

Максимальные размеры заготовки, устанавливаемой на станке, зависят от размера детали, величины изготавливаемой партии деталей, размеров рабочего пространства конкретного станка (табл. 3.6).

Разрезка крупногабаритного проката производится на специальном оборудовании. Разрезка прутка, круга, трубы, уголка, швеллера с максимальным размером в сечении 80...100 мм производится на механических ножовках, размером от 100 мм – на круглопильных станках. Разрезка листа толщиной до 10...15 мм производится на гильотинах, толщиной свыше 10...15 мм – на специальном оборудовании (иногда заготовки разрезают газовой резкой, на продольно-фрезерных станках дисковыми фрезами). Для разрезки или отрезки заготовок вводят специальные операции – заготовительные.

Таблица 3.6

Размеры заготовок для металлорежущих станков

Тип оборудования	Прокат	Размеры заготовки максимальные, мм
Токарный станок: – пруток – единичная заготовка	Круг, пруток, труба Круг, пруток, труба	$\varnothing d \times l$ $\varnothing D \times M$
Фрезерный станок	Лист, швеллер, уголок, круг, пруток, труба	$L \times M$; $\varnothing D \times M$
Сверлильный станок	Лист, швеллер, уголок, круг, пруток, труба	$L \times M$; $\varnothing D \times M$
Шлифовальный станок: – круглошлифовальный – бесцентрово-шлифовальный – внутришлифовальный – плоскошлифовальный	Круг, пруток, труба Круг, пруток, труба Труба Лист, швеллер, круг	$\varnothing D \times M$ $\varnothing d \times l$, $\varnothing D \times M$ $\varnothing D \times M$ $L \times M$; $\varnothing D \times M$
Токарные автоматы	пруток	$\varnothing d \times l$
Примечание: размеры $\varnothing d \times l$ зависят от диаметра внутреннего отверстия шпинделя и длины шпинделя (подающей трубы для автоматов); размеры $\varnothing D \times M$ и $L \times M$ определяются размерами рабочей зоны конкретного станка		

Точность отрезки заготовок зависит от применяемого способа и оборудования (табл. 3.7).

Таблица 3.7

Точность резки по длине заготовки различными способами

Способ резки	Величина отклонения по длине, мм
Горячая резка на пилах	$\pm 0,5 \dots \pm 1,5$
Резка на механических ножовках	$(\pm 1,0 \dots \pm 1,5) / 100$ мм диаметра
Резка дисковыми пилами	$(\pm 0,75 \dots \pm 1,0) / 100$ мм диаметра
Резка на ножницах	$\pm 1,0 \dots \pm 5,0$
Газоплазменная резка	$\pm 1,0 \dots \pm 3,0$
Газовая (кислородная) резка: – ручная – машинная	$\pm 1,0 \dots \pm 5,0$ $\pm 0,5 \dots \pm 2,5$
Электроискровая резка	$\pm 0,1 \dots \pm 0,25$
Анодно-механическая резка	$\pm 0,1 \dots \pm 0,5$

3.7. Расчет припусков

При проектировании технологических процессов механической обработки заготовок необходимо установить оптимальные припуски, которые обеспечили бы заданную точность и качество обрабатываемых поверхностей.

Припуском называется слой материала, удаляемый с поверхности заготовки в целях достижения заданных свойств обрабатываемой поверхности.

Припуски могут быть операционные и промежуточные.

Припуск, удаляемый при выполнении одной технологической операции, называется операционным.

Промежуточный припуск – это припуск, удаляемый при выполнении одного технологического перехода.

Общий припуск, который удаляют в процессе механической об-

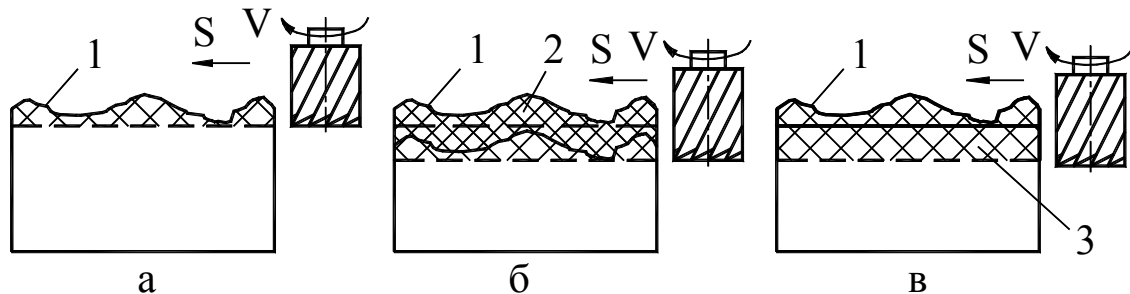


Рис. 3.3. Схема определения величины минимального припуска:
1 – поверхность заготовки; 2 – корка; 3 – дефектный слой

работки заданной поверхности для получения чертежных размеров, определяется разностью размеров исходной заготовки и детали.

На припуск устанавливается допуск, который является разностью между наибольшим и наименьшим значениями припуска.

При определении минимального припуска необходимо учитывать, что при обработке заготовки надо снять не только слой заготовки, имеющий геометрические отклонения 1 (рис. 3.3, а). В ряде случаев необходимо учесть способ получения заготовки и связанный с этим дополнительный дефектный слой. При получении заготовки методом литья некоторые металлы дают прочную литейную корку, которую надо полностью удалить (рис. 3.3, б). При получении заготовок спеканием (например, материал САС) дефектный слой распространяется на значительную глубину (до 7 мм на сторону на диаметре 100 мм), который также необходимо удалять (рис. 3.3, в).

Имеется два основных метода определения припусков на механическую обработку: опытно-статистический и расчетно-аналитический.

В первом случае припуск устанавливается по стандартам и таблицам, составленным на основе обобщения и систематизации производственных данных передовых предприятий. Метод применяется в основном при изготовлении единичных деталей.

В расчетно-аналитическом методе минимальный припуск рассчитывают на основе анализа факторов, влияющих на формирование припуска, с использованием нормативных материалов. Припуски на обработку определяют таким образом, чтобы на выполняемом технологическом переходе были устранены погрешности изготовления детали, которые остались на предшествующем переходе. При расчетах учитывается величина A срезаемого дефектного слоя, состоящая из величины высоты микронеровностей Rz_{i-1} , которая характеризует шероховатость поверхности и глубину дефектного слоя h_{i-1} (рис. 3.4).

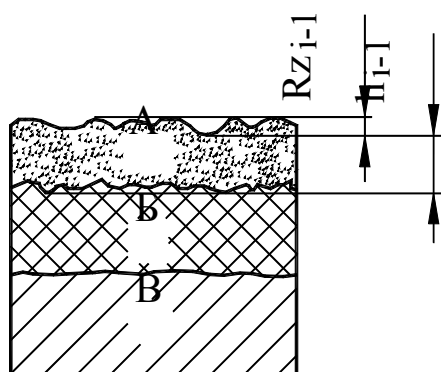


Рис. 3.4. Схема поверхностного слоя после обработки наружной поверхности заготовки [35]

Поверхностный слой Б, имеющий измененную структуру материала (наклепанный слой), обычно не удаляют из-за его повышенной износостойкости. Этот слой способствует и получению меньшей шероховатости. Ниже слоя Б расположен слой В, имеющий исходную структуру материала.

Качество обработанной поверхности заготовки характеризуется параметром шероховатости, состоянием и глубиной поверхностного слоя. При расчетах припуска исходят из того, что шероховатость поверхности и дефекты поверхностного слоя, сформированные на предшествующем переходе ($i-1$), должны быть удалены на выполняемом переходе. При этом надо учитывать глубину не всего поверхностного слоя, а лишь его дефектной части. Необходимо стремиться оставить наклепанный поверхностный слой – более износостойкий, чем нижележащие слои исходной структуры, к тому же способствующий получению меньшей шероховатости поверхности при ее обработке в зоне этого слоя.

При расчете припусков отклонения формы поверхности отдельно не учитывают. Принимают, что эти отклонения (овальность, бочкообразность, седлообразность, конусность, вогнутость, выпуклость и др.) не должны превышать допуска на размер и, как правило, должны составлять некоторую ее часть.

Пространственные отклонения Δ_{Σ} (кривизна и коробление заготовки, эксцентricность отверстия относительно наружной поверхности,

увод оси отверстия, отклонения от параллельности, перпендикулярности, плоскостности и т.п.) следует учитывать отдельно при расчете припусков на обработку.

Перечисленные отклонения проявляются в результате предшествующей обработки. На выполняемом переходе может возникнуть погрешность установки ε_i .

С учетом изложенного можно определить в общем виде минимальный промежуточный припуск на выполняемом переходе по формулам [35]:

- для асимметричных припусков при последовательной обработке плоских поверхностей

$$z_{i \min} = (Rz_{i-1} + h_{i-1}) + |\Delta_{\Sigma i-1} + \varepsilon_i|;$$

- для симметричных припусков при обработке наружных и внутренних поверхностей вращения

$$2z_{i \min} = 2[(Rz_{i-1} + h_{i-1}) + |\Delta_{\Sigma i-1} + \varepsilon_i|].$$

Здесь Rz_{i-1} – высота неровностей на предшествующем переходе; h_{i-1} – глубина дефектного поверхностного слоя на предшествующем переходе (обезуглероженный или отбеленный слой); $\Delta_{\Sigma i-1}$ – суммарные отклонения расположения поверхности (отклонения от параллельности, перпендикулярности, соосности, симметричности, пересечения осей, позиционное) и в некоторых случаях отклонения формы поверхности (отклонения от плоскостности, прямолинейности на предшествующем переходе); ε_i – погрешность установки заготовки на выполняемом переходе.

Нормативные материалы для значений Rz_{i-1} , h_{i-1} , $\Delta_{\Sigma i-1}$, ε_i даны в справочнике [50]. Выборочно значения Rz_{i-1} , h_{i-1} , ε_i представлены в табл. 3.8. Расчет минимальных промежуточных припусков на обработку производят для определения расчетных размеров обрабатываемой поверхности по всем технологическим переходам от готовой детали до исходной заготовки.

На расчетных схемах указывается черновая, чистовая и отделочная обработка с указанием допусков на обрабатываемые поверхности (рис. 3.5).

Таблица 3.8

Значения Rz_{i-1} (H_{\max}) h_{i-1} (T_{\max}), ε_i (δ_{Π}),
соответствующие среднеэкономической точности

Вид обрабатываемой поверхности	Стадии обработки	Rz_{i-1}	h_{i-1}	ε_i
		МКМ		
Наружные цилиндрические, конические и фасонные поверхности вращения	Притирка	0,05–0,5	3–5	4–11
	Тонкое точение	1–5	15–20	8–25
	Шлифование	1,7–15	15–25	10–40
	Чистовое точение	5–45	30–40	50–200
	Черновое точение	15–100	40–60	100–400
	Холодная обработка давлением	25–100	80–100	70–340
	Прокатка	100–225	300	500–1600
	Штамповка горячая	100–225	500	400–1000
Отверстия цилиндрические	Притирка	0,05–0,5	3–5	4–13
	Тонкое точение	1–5	15–20	15–25
	Дорнование	1–5	20–25	12–18
	Протягивание	1,7–8,5	10–20	18–30
	Шлифование	1,7–15	20–30	15–35
	Чистовое растачивание	3–25	30–40	100–200
	Чистовое развертывание	25–100	25–30	40–150
	Черновое растачивание	25–225	30–50	200–350
	Расверливание	25–225	40–60	140–300
	Сверление по кондуктору	45–225	50–60	70–300
	Сверление без кондуктора	45–225	50–60	120–350
	Штамповка горячая	100–225	500	600–1000
Плоскости	Притирка	0,05–0,5	3–5	4–15
	Шлифование	1,7–15	15–25	10–50
	Чистовое фрезерование	5–45	25–50	25–100
	Черновое фрезерование	15–100	40–60	70–200
	Строгание	15–100	40–50	80–200
	Прокатка	100–225	300	500–1600
	Штамповка горячая	100–225	500	300–1000

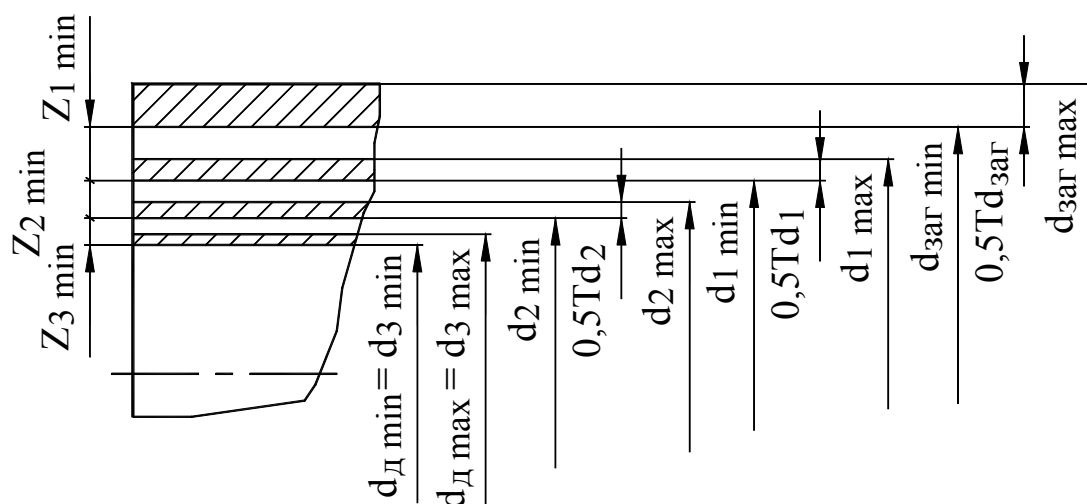


Рис. 3.5. Схема расположения промежуточных припусков и допусков для цилиндрической детали

3.8. Оборудование и технологическая оснастка

Наиболее часто в мелкосерийном производстве применяются следующие типы металлорежущих станков: токарные, фрезерные, сверлильные, шлифовальные станки с ручным управлением, автоматы фасонно-продольного точения, токарно-револьверные автоматы, станки с ЧПУ.

На токарных станках выполняют следующие виды работ: подрезка торца, точение цилиндрических и конических поверхностей; точение канавок на торце детали и на цилиндре; растачивание конических и цилиндрических поверхностей; центрование, сверление, зенкерование, развертывание отверстий; нарезание наружной резьбы резцом и плашкой; нарезание внутренней резьбы резцом и метчиком; накатывание рифлений. Применяется стандартный режущий инструмент [49]: различные типы резцов, сверла, зенкеры, развертки, метчики, плашки.

На токарных автоматах фасонно-продольного точения обрабатывают детали с наружным диаметром до 16 мм. Получают из прутка цилиндрические и конические наружные поверхности, центральное гладкое и резьбовое отверстие. Режущий инструмент – резцы различных типов, сверла, метчики.

На токарно-револьверных автоматах из прутка круглого (диаметром до 40 мм) или шестигранного сечения получают наружные цилиндрические поверхности резцами (в том числе фасонными), центральное отверстие – сверлами.

На фрезерных станках выполняют следующие виды работ: фрезерование плоскостей, уступов, колодцев, пазов. Обработка производится фрезами различных типов.

На сверлильных станках выполняют следующие виды работ: сверление, зенкерование, развертывание, нарезание резьбы метчиком. Режущий инструмент – сверла, зенкеры, развертки, метчики.

На круглошлифовальных станках шлифуют наружные цилиндрические и конические поверхности, и наружные цилиндрические поверхности с подшлифовкой торца различными типами шлифовальных кругов для обработки наружных поверхностей.

На внутришлифовальных станках производится шлифование внутренних поверхностей или внутренних поверхностей с подшлифовкой торца шлифовальными кругами для обработки отверстий (диаметр круга меньше диаметра отверстия).

На плоскошлифовальных станках выполняют шлифование плоских наружных поверхностей шлифовальными кругами для обработки плоских поверхностей.

Выбор оборудования для заданной операции производится с учетом габаритов обрабатываемой заготовки и достигаемой точности.

Необходимые данные по отечественному оборудованию классов точности Н (нормальной точности) и П (повышенной точности) можно найти в справочнике технолога-машиностроителя [51]. Характеристики оборудования других классов точности определяют по табл. 3.9.

Таблица 3.9

Характеристика металлорежущего оборудования [59]

Класс точности станков	Группа	Погрешность, %	Трудоемкость, %
нормальной	Н	100	100
повышенной	П	60	140
высокой	В	40	200
особо высокой	К	25	280
особоточные станки	С	16	450

При выборе оборудования для конкретного вида обработки необходимо представлять возможности оборудования различной степени точности при получении допусков взаимного расположения поверхностей, эксцентриситета, торцового биения.

Торцовое биение определяется относительно осей цилиндрических поверхностей, обработанных за одну установку с торцовой поверхностью на токарных и координатно-расточных станках (табл. 3.10)

Таблица 3.10

Торцовое биение в зависимости от класса точности станка

Контролируемый параметр	Классы точности станков						
	токарных				координатно-расточных		
	П	В	А	С	В	А	С
Торцовое биение, мм	0,008 и более	0,005 ... 0,008	0,003 ... 0,005	0,002 ... 0,003	0,006 и более	0,004 ... 0,006	0,003 ... 0,004

Эксцентриситет цилиндрических поверхностей, обработанных за одну установку на токарных и координатно-расточных станках (табл. 3.11).

Эксцентриситет цилиндрических поверхностей, обработанных за одну установку на координатно-расточных станках (с разворотом универсального стола на 180°) на **приведенной** длине $l = 100$ мм (табл. 3.12).

Таблица 3.11

Эксцентриситет цилиндрических поверхностей
в зависимости от класса точности станка

Контролируемый параметр	Классы точности станков						
	токарных				координатно-расточных		
	П	В	А	С	В	А	С
Эксцентриситет, мм	0,004 и более	0,0025 ... 0,004	0,0016 ... 0,0025	0,001 ... 0,0015	0,004 и более	0,0025 ... 0,004	0,0015 ... 0,0025

Приведенная длина l равняется удвоенному расстоянию от торца одного из растачиваемых отверстий до оси вращения универсального стола. При разработке техпроцесса конкретной детали для правильного выбора координатно-расточного станка требуемого класса точности, кроме таблиц 3.9...3.11 технолог должен руководствоваться следующим: величина допустимого эксцентриситета, указанного в табл. 3.11,

состоит из 2-х слагаемых (табл. 3.13):

- постоянного слагаемого, не зависящего от величины расстояния от торца растачиваемого отверстия до оси вращения стола (оно является следствием всех погрешностей станка и стола, кроме погрешности установки угла поворота);
- переменного слагаемого, зависящего прямо пропорционально от величины расстояния от торца растачиваемого отверстия до оси вращения стола (оно является следствием погрешности установки угла поворота при развороте стола на 180°).

Таблица 3.12

Эксцентриситет цилиндрических поверхностей с разворотом стола на 180° в зависимости от класса точности станка

Контролируемый параметр	Классы точности координатно-расточных станков		
	В	А	С
Эксцентриситет, мм (на 100 мм длины)	0,015 и более	0,010 ... 0,015	0,006 ... 0,010

Суммарный эксцентриситет определится как сумма постоянной и переменной составляющих:

$$\varepsilon_{\Sigma} = \varepsilon_{\text{пост}} + \varepsilon_{\text{пер}}$$

Например, необходимо определить класс точности станка при расточке двух соосных отверстий с разворотом стола на 180°. Длина детали 70 мм, допустимый эксцентриситет по чертежу $\varepsilon_{\text{доп}} = 0,008$ мм.

Так как ось поворота заготовки будет находиться в середине детали, то приведенная длина равна 70 мм (35 x 2).

Табл. 3.13

Составляющие эксцентриситета

Составляющая	Классы точности станков		
	В	А	С
Постоянная	0,010	0,007	0,004
Переменная	0,005	0,003	0,002

Определим суммарную погрешность для станка класса точности А:

$$\varepsilon_{\Sigma} = \varepsilon_{\text{пост}} + \varepsilon_{\text{пер}} = 0,007 + 0,003 (70/100) = 0,009 \text{ мм.}$$

Класс точности А не подходит, так как $\varepsilon_{\Sigma} = 0,009 \text{ мм} > \varepsilon_{\text{доп}}$.

Выбираем класс точности С:

$$\varepsilon_{\Sigma} = \varepsilon_{\text{пост}} + \varepsilon_{\text{пер}} = 0,004 + 0,002 (70/100) \approx 0,006 \text{ мм.} \quad \varepsilon_{\Sigma} < \varepsilon_{\text{доп}}$$

Технологическая оснастка

По ГОСТ 31.0000.01–87 к технологической оснастке относят: приспособления к металлорежущим станкам; приспособления и инструмент сварочный, термический, для обработки давлением, литейный; вспомогательный к металлорежущим станкам, для измерения и контроля линейных и угловых величин; инструмент для обработки резанием и др.

Приспособления к металлорежущим станкам подразделяют на универсальные, специализированные и специальные. В единичном и мелкосерийном производстве рекомендуется применять универсальные приспособления. Они предназначены для использования при обработке большой номенклатуры различных заготовок. К ним относятся тиски, трех- и четырехкулачковые патроны, зажимные цанги, делительные головки, поворотные столы и др.

Применение приспособлений при обработке заготовок позволяет:

- производить установку заготовок на станках без выверки их положения;
- повышать производительность труда;
- расширять технологические возможности оборудования.

Применение приспособлений для установки заготовок устраняет дорогостоящую и трудоемкую операцию разметки, исключает выверку обрабатываемой заготовки на станке, обеспечивает возможность автоматического получения размеров требуемой точности.

Повышение производительности труда обеспечивается применением высокопроизводительного оборудования и высокоэффективных приспособлений.

Приспособления, расширяющие технологические возможности станков, позволяют осуществить крепление инструмента, использование которого на данном станке не предусмотрено; дополнительные перемещения обрабатываемой заготовки и инструмента; перемещение инструмента относительно заготовки в требуемой последовательности. При этом возможно крепление заготовок и инструментов на не предназначенных для этих целей поверхностях станков; повышение точности положения и перемещения инструмента; становятся возможными виды обработки, для которых данный станок не предназначен. Например,

с помощью специальных приспособлений обработку шлифованием, протягиванием и фрезерованием можно производить на токарно-винторезном станке; растачивание, долбление – на фрезерном; обработку точных отверстий на сверлильных станках и др.

Приспособления подразделяют по следующим признакам [54]: целевому назначению, степени специализации и функциональному назначению элементов приспособлений.

По целевому назначению приспособления различают:

- для установки заготовок на станке;
- для крепления рабочих инструментов;
- сборочные приспособления;
- контрольные;
- транспортно-кантовательные для захвата, перемещений и перевертывания обрабатываемых заготовок.

По степени специализации приспособления делят на универсальные, специализированные и специальные.

По функциональному назначению элементы приспособления подразделяют на:

- установочные;
- зажимные;
- силовые приводы;
- элементы для определения положения и направления инструментов;
- корпуса;
- вспомогательные механизмы (делительные, фиксирующие и др.);
- вспомогательные и крепежные детали (рукоятки, сухари, шпонки и т.п.).

Совокупность всех систем приспособления представляет единый комплекс технологической оснастки, применяемой для обработки заготовок во всех типах производства.

Для крепления инструмента применяются резцедержатели, оправки, переходные втулки.

Для измерений применяются стандартный измерительный инструмент и приборы: штангенциркули различных типов, штангенглубиномеры, микрометры, индикаторы часового типа.

При выборе измерительного инструмента учитывают погрешность измерения данным инструментом, пределы измерений и способ измерения (см. раздел «Контрольные операции»).

3.9. Базирование заготовок на станке

Точное изготовление детали на металлорежущем станке начинается с правильной ориентации ее относительно координатных осей станка – базированием. Для полной ориентировки заготовки в рабочем пространстве станка используется комплект баз, обеспечивающий лишение тела шести степеней свободы путем создания для заготовки шести опорных точек. Опорные точки изготавливаются с высокой точностью, заведомо превосходящей допуск обрабатываемой заготовки. Операционные размеры, отсчитываемые от поверхностей заготовки, прижатых к опорным точкам, не содержат **погрешности базирования**.

При определении количества степеней свободы, лишаемых каждой базирующей поверхностью заготовки, исходят из следующих положений.

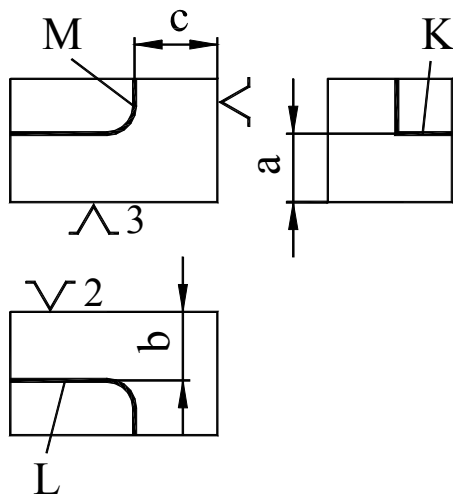


Рис. 3.6. Базирование призматической заготовки

Максимальное число степеней свободы (3 – для плоскости, 4 – для цилиндра) отнимается у наиболее протяженной (или имеющей наибольшую площадь) поверхности заготовки. Чаще всего эта поверхность является и основанием детали. Обрабатываемая поверхность К с отсчетом операционного размера a (рис. 3.6) от такой базирующей поверхности имеет отличительную особенность: она параллельна базовой с минимальной погрешностью (отклонение от неплоскостности также минимально). 2-х степеней свободы лишается наиболее протяженная боковая поверхность заготовки.

Обрабатываемая в размер b поверхность L параллельна боковой базовой. Обрабатываемая поверхность M отстоит от базовой на размер c (отнимается одна степень свободы).

Основные схемы базирования рассмотрены А.А. Маталиным [33], В.В. Матвеевым [46] и др.

3.9.1. Базирование заготовок при токарной обработке

При обработке детали за несколько установов необходимо учитывать погрешности базирования и закрепления. Например, обработанная деталь (рис. 3.7) на токарном станке за два установа (рис. 3.8, а, б) всегда содержит погрешность Δ между осями (рис. 3.8, в).

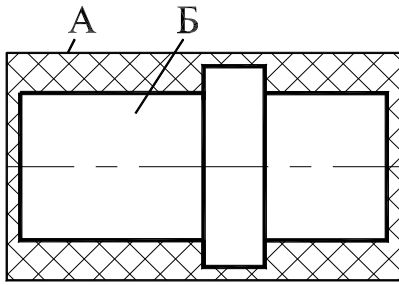


Рис. 3.7. Эскиз детали:
А – заготовка; Б – деталь

Определяя базирующие поверхности необходимо учитывать следующие положения: базирующая поверхность должна быть наиболее точной и с наименьшей шероховатостью; связана явно с обрабатываемой поверхностью допусками взаимного расположения поверхностей; связана не явно с обрабатываемой поверхностью допусками взаимного расположения поверхностей (определяется технологом).

Например, при обработке единичной заготовки с $L/D > 1$ по наружному диаметру заготовка лишается 4-х степеней свободы, по левому

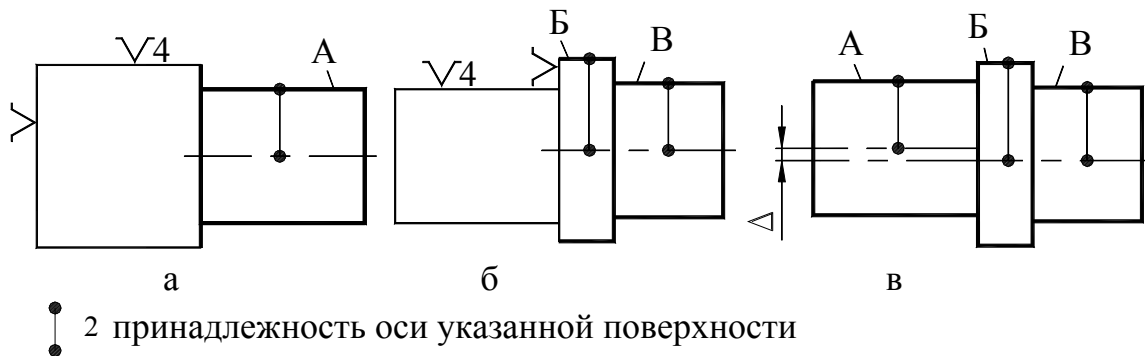


Рис. 3.8. Формирование погрешности смещения осей при обработке за два установка: а, б – последовательность изготовления детали; в – эскиз полученной детали

торцу (см. эскиз) – одной. При подрезке торца выдерживается размер p . Точением диаметров $D1$ и $D2$ (рис. 3.9, а) выдерживаются от базового

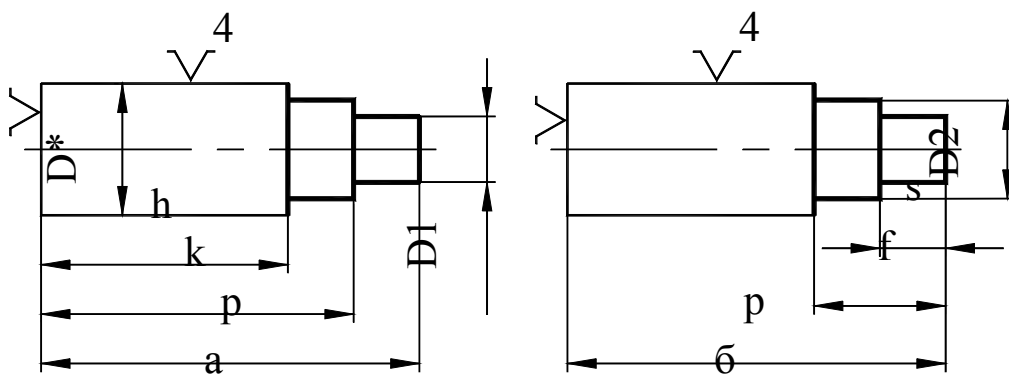


Рис. 3.9. Базирование единичных заготовок с $L/D > 1$:

а – с измерением длины от базы; б – с измерением длины от подрезанного торца; D^* – диаметр заготовки, p – длина детали, h , k , s , f – операционные размеры; * – справочный размер (на данной операции не обеспечивается)

торца размеры k и h соответственно. Необходимую длину диаметров $D1$ и $D2$ можно получить также точно, подрезая правый торец, и этим же резцом проточив на длины s и f , используя в качестве базы подрезанный торец (рис. 3.9, б).

При точении прутков в качестве базовой поверхности используется упор. Пруток выдвигается до упора, затем зажимается. Торец может не подрезаться, но осевые операционные размеры будут измеряться от торца, как от базы (рис. 3.10, а). Если торец подрезается, то эта величина подрезки – строго фиксированная, например 1 мм. Дальнейшая проточка производится этим же резцом от подрезанного торца, как от базы

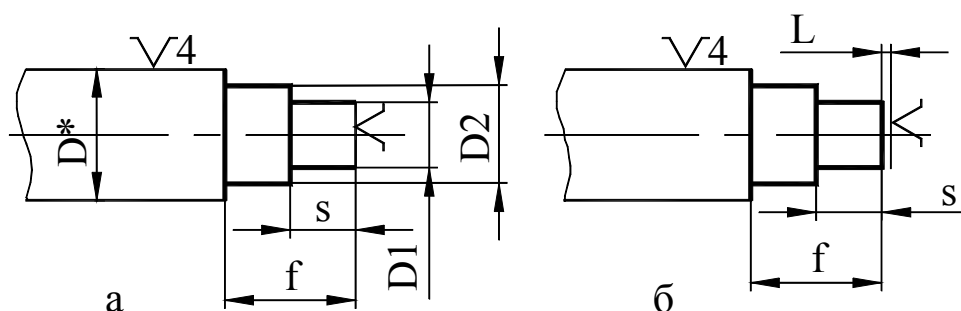


Рис. 3.10. Базирование прутка на токарном станке: а – без подрезки торца; б – с подрезкой торца; L – ширина подрезки торца, s , f – операционные размеры

(рис. 3.10, б). При расточке внутренних поверхностей конструктором обычно определено (или следует из назначения данной детали в машине) биение обрабатываемых поверхностей относительно внутренней или наружной поверхности. Биение диаметров расточки должно быть минимальным. В связи с этим может быть несколько вариантов базирования заготовки (рис. 3.11).

Базирование можно выполнять и по наружному диаметру, и по внутреннему. Однако при этом точность взаимного расположения поверхностей будет различной. При базировании по наружному диаметру и левому (по рисунку) торцу (рис. 3.11, а) более точным будет положение диаметров обработанных отверстий $D1$ и $D2$ относительно наружного диаметра (рис. 3.12, а). Осевые размеры более точными будут получены относительно базовой поверхности – размеры h и k . Общая длина детали останется без изменения. Более предпочтительной является другая схема (рис. 3.11, б). По этой схеме подрезается торец и выдерживается общий размер p . От обработанного торца, как от полученной базы, выдерживаются осевые размеры s и f . По данной схеме можно получить и осевые размеры h и k от базы по левому торцу, но при этом получение заданных размеров s и f не будет гарантировано.

Если базирование производится по внутреннему диаметру (рис.3.11, в), то положение обработанных поверхностей D1 и D2 будет более точным по отношению к внутреннему диаметру (рис. 3.12, б) и

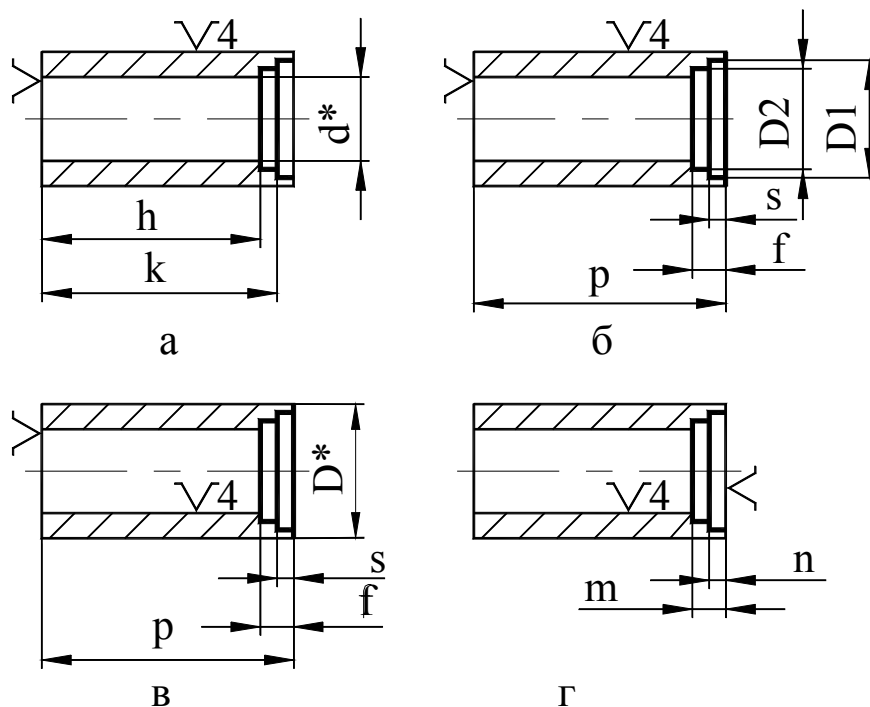


Рис. 3.11. Базирование трубы

менее точным к наружному. В отдельном случае возможно применение схемы без подрезки торца (рис. 3.11, г). Во всех случаях, когда производится подрезка торца перед

продольным точением, отклонение от перпендикулярности между торцом и продольной проточкой будет минимальным. Лишением заготовки 4-х степеней свободы обеспечивается **параллельность** обработанных поверхностей относительно базовой [46]. Особенно это важно при обработке поверхностей с $l/d > 1$.

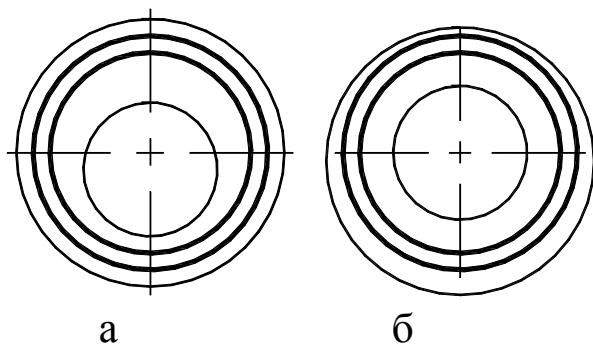


Рис. 3.12. Положение обработанных поверхностей относительно базовых:

- а – базовая наружная поверхность;
- б – базовая внутренняя поверхность

Обработка длинных валов выполняется в центрах. Базирование производится по центровым отверстиям (рис. 3.13). Осевые размеры измеряются от вершины центра, а не от левого торца. Максимальное число степеней свободы лишается по оси центров, поэтому все

обработанные цилиндрические поверхности с минимальной погрешно-

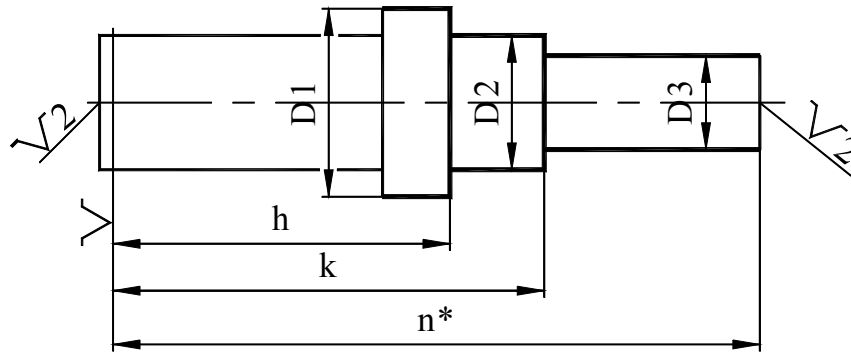


Рис. 3.13. Базирование длинного вала в центрах:
 D_1, D_2, D_3, h, k, n^* – операционные размеры

стью будут параллельны оси центров. Точение вала в центрах производится по направлению к более жесткой шпиндельной бабке. Передача крутящего момента производится посредством хомутика, а при достаточной площади торца – посредством специального патрона.

Цилиндрические поверхности с $L/D < 1$ базируются по-другому.

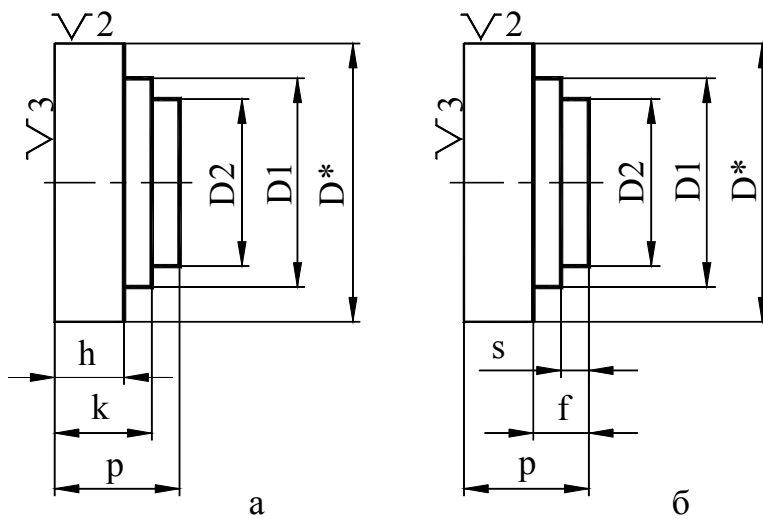


Рис. 3.14. Базирование коротких цилиндрических тел:
 а – отсчет размеров от базы; б – отсчет размеров от подрезанного торца; D_1, D_2, h, k, p, s, f – операционные размеры

Большее число степеней свободы лишается по торцу (рис. 3.14). Отсчет осевых размеров производится аналогично предыдущему случаю (рис. 3.11). При подрезке торца выдерживается размер p . Одновременно с этим подрезанный торец с минимальной погрешностью будет **параллелен** базовому торцу, так как он лишен 3-х степеней свободы – наибольшему

числу, допускаемому на плоских поверхностях. Осевые размеры могут отсчитываться как от базового левого торца (рис. 3.14, а), так и от подрезанного торца, используемого в качестве базового (рис. 3.14, б).

3.9.2. Базирование заготовок при фрезерной обработке

Общие подходы к базированию сохраняются и для фрезерной обработки. Если заготовка имеет симметричную цилиндрическую форму и ее предполагается зажимать в патроне, то для этого случая все подходы к базированию аналогичны, как и для токарной обработки. Заготовка лишается по цилиндру или 2-х (если короткая), или 4-х (если длинная) степеней свободы. По торцу соответственно или 3-х, или 1-й степени свободы. Если деталь асимметрична, то добавляется 6-я точка. Например, при фрезеровании паза в короткой цилиндрической заготовке с уже

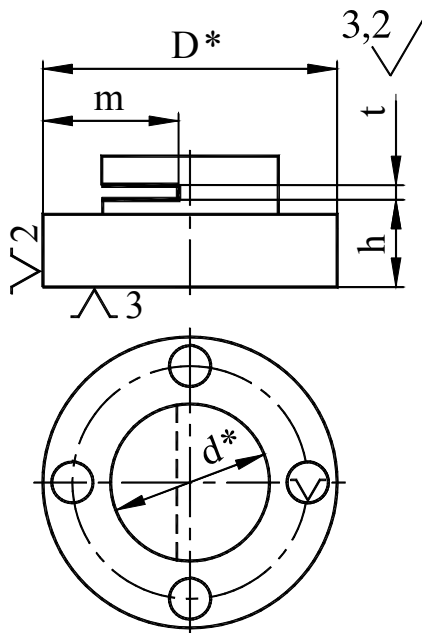


Рис. 3.15. Базирование цилиндрической заготовки

обработанными отверстиями, паз необходимо ориентировать относительно этих отверстий (рис. 3.15). Размер m выдерживается от цилиндра большего диаметра, поэтому базирование производится по большому диаметру. Боковые стенки паза с наименьшей погрешностью будут параллельны основанию, лишенному 3-х степеней свободы.

При обработке корпусных заготовок обычно применяется одна из 3-х схем базирования:

- по 3-м сторонам;
- по основанию, центральному отверстию и нецентральному отверстию или боковой стороне;
- по основанию и двум нецентральным отверстиям.

Наиболее простой в реализации способ – базирование по 3-м плоскостям. Обычно в основании заготовка лишается 3-х степеней свободы, по более протяженной боковой стороне 2-х степеней, по смежной боковой стороне еще одной степени свободы (рис. 3.6). Этот способ базирования часто применяется при получении пазов, уступов, колодцев, связанных размерами или допусками взаимного расположения поверхностей с базовыми поверхностями. Базирование по основанию, центральному отверстию и нецентральному отверстию или боковой стороне применяется в случае, когда размеры или допуски взаимного расположения связывают центральное отверстие с другими элементами детали (отверстиями, пазами, лысками, уступами).

Обычно по основанию заготовку лишают 3-х степеней свободы, по центральному отверстию – 2-х (короткий цилиндрический палец), в нецентральной отверсти устанавливают короткий срезанный палец (одна степень свободы). Если одной степени свободы заготовку лишают не по нецентральному отверстию, а по боковой стороне, то она должна

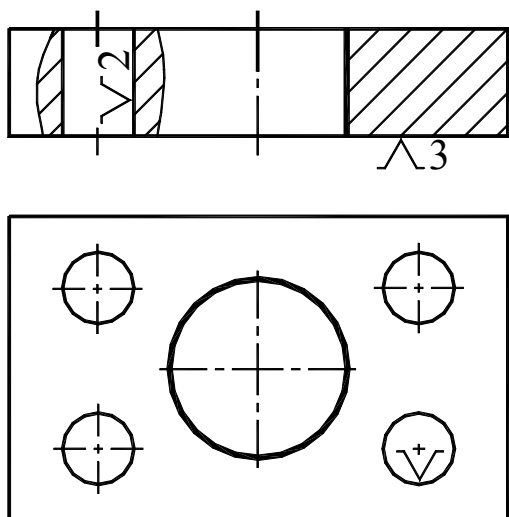


Рис. 3.16. Базирование по двум отверстиям

предотвращать вращение заготовки относительно центрального отверстия.

Базирование по двум нецентральным отверстиям применяют при обработке деталей типа корпус редуктора. Эти два отверстия обрабатывают с более высокой точностью, чем остальные. Заготовку лишают по основанию 3-х степеней свободы, по одному из отверстий – 2-х степеней (короткий цилиндрический палец), по другому отверстию – одной степени (срезанный короткий палец), рис. 3.16.

3.10. Назначение режимов резания

Исходными данными для расчета режимов резания являются:

- материал обрабатываемой заготовки и ее физико-механические свойства;
- размеры и геометрическая форма обрабатываемой заготовки;
- технические условия на изготовление детали;
- инструментальный материал, типоразмер и геометрические параметры режущей части инструмента;
- паспортные характеристики оборудования.

При оценке характеристик обрабатываемого материала удобно пользоваться таблицей классификации материалов по группам обрабатываемости резанием (табл. 3.14).

В качестве критерия обрабатываемости обычно применяется скорость резания. В этом случае обрабатываемость характеризуется коэффициентом обрабатываемости K_v , который отражает влияние свойств обрабатываемого материала на отношение скоростей резания:

$$K_v = V/V_э,$$

где $V_{э}$ – значение скорости резания эталонного материала при заданных условиях обработки, необходимое для получения определенного периода стойкости;

V – значение скорости резания рассматриваемого материала при тех же условиях обработки, необходимое для получения той же стойкости.

Таблица 3.14

Краткая классификация металлов
по группам обрабатываемости резанием [41]

№ группы	Обрабатываемый материал	Эталонная марка $K_v = 1$
1	2	3
I	Магниевые сплавы $\sigma_{в}=165-245$ Мпа, $K_v=0,9-3,0$	Магний сплав МЛ5 $\sigma_{в}=195-245$ Мпа
II	Алюминиевые сплавы $\sigma_{в}=137-400$ Мпа, 45–95 НВ, $K_v=0,6-2,5$	Дюралюминий Д16 $\sigma_{в}=314-380$ Мпа
III	Медь и медные сплавы $\sigma_{в}=180-980$ Мпа, 60–400 НВ, $K_v=0,8-4,0$	Сплав БрАЖ9-4; 110–150 НВ $\sigma_{в}\leq 500$ Мпа
IV	Чугун $\sigma_{в}\geq 100$ Мпа, 100–260 НВ, $K_v=0,71-1,66$	Серый чугун СЧ20, 180–200НВ
V	Углеродистые стали $\sigma_{в}=295-1080$ Мпа, 77–317 НВ, $K_v=0,34-2,2$	Сталь 45
VI	Легированные стали $\sigma_{в}=395-1270$ Мпа, 116–345 НВ, $K_v=0,17-1,8$	$\sigma_{в}=690-750$ Мпа, 200–220 НВ
VII	Теплоустойчивые стали $\sigma_{в}=600-1300$ Мпа, 174–285 НВ, $K_v=1,2-2,0$	Коррозионно- стойкая
VIII	Коррозионно-стойкие стали $\sigma_{в}=700-2000$ Мпа, 212–560 НВ, $K_v=0,24-1,3$	
IX	Жаропрочные деформируемые стали $\sigma_{в}=720-1225$ Мпа, 212–352 НВ, $K_v=0,45-1,3$	

1	2	3
X	Коррозионно-стойкие стали $\sigma_B=500-1400$ Мпа, 143–383 НВ, $K_v=0,24-1,3$	жаростойкая и жаропрочная сталь 12X18H10T $\sigma_B=540-610$ Мпа, 143–175 НВ
XI	Жаропрочные и жаростойкие деформируемые стали на никелевой основе $\sigma_B=540-1300$ Мпа, 149–383 НВ, $K_v=0,15-1,4$	
XII	Жаропрочные литейные сплавы на никелевой основе $\sigma_B=666-1300$ Мпа, 217–363 НВ, $K_v=0,10-0,8$	
XIII	Сплавы на титановой основе $\sigma_B=450-1350$ Мпа, 126–375 НВ, $K_v=0,4-1,2$	
XIV	Закаленные высокопрочные стали $\sigma_B=1600-2000$ Мпа, 450–500 НВ, $K_v=0,2-0,4$	

Инструментальные материалы

Производительность обработки и стойкость режущего инструмента существенно зависят от правильного выбора марки инструментального материала. Требования, предъявляемые к инструментальным материалам, определяются условиями, в которых находятся контактные поверхности инструмента. Чтобы режущий клин не деформировался при резании, твердость $H_{и}$ инструментального материала должна значительно превосходить твердость обрабатываемого материала $H_{м}$. Однако повышение твердости инструмента сопровождается возрастанием хрупкости. Поэтому в различных случаях необходимы определенные требования к показателям качества инструментальных материалов:

- для различных соотношений "инструментальный – обрабатываемый материал" существует свое оптимальное соотношение;
- высокая твердость;
- высокая теплостойкость;
- износостойкость;
- теплопроводность;
- экономичность;
- малое сродство с обрабатываемым материалом.

Всем перечисленным требованиям в той или иной степени отвечают следующие группы инструментальных материалов:

- углеродистые и легированные стали;

- быстрорежущие стали;
- твердые сплавы;
- минералокерамика;
- природные и искусственные алмазы;
- соединения бора.

Основные свойства инструментальных материалов представлены в табл. 3.15.

Таблица 3.15

Основные свойства инструментальных материалов

Инструментальный материал	Изгиб,* Мпа	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м•К)	$\theta^{\circ}\text{C}$	HRA	Микротвердость, Гпа
Легированная сталь	2000–2500	27–29	До 260		
Быстрорежущая сталь	2050–3700	18–20	610–700	83	7–7,5
Твердый сплав ВК	1100–1650	13–80	800–850	87–91	16–17
Твердый сплав ТК	950–1650	13–80	850–900	87–92	16–17
Минералокерамика	400–850	3	1200	91–93	15
Алмаз	210–480	142,5	700–800		100
Кубический нитрид бора	700–1500	25–60	1200–1500		78–95
Примечание: * – предел прочности при изгибе; $\theta^{\circ}\text{C}$ – теплостойкость					

Необходимо отметить, что с повышением температуры резания режущая способность различных материалов изменяется по-разному (рис. 3.17).

Инструментальные углеродистые стали марки У12 и У13 применяют для изготовления ручных разверток, плашек, напильников, шаберов.

Инструментальные легированные стали марки 9ХС, ХВГ – для изготовления протяжек и резьбообразующего инструмента, пуансонов, матриц.

Быстрорежущие стали являются наиболее распространенной группой инструментальных сталей. Из них изготавливаются фасонные

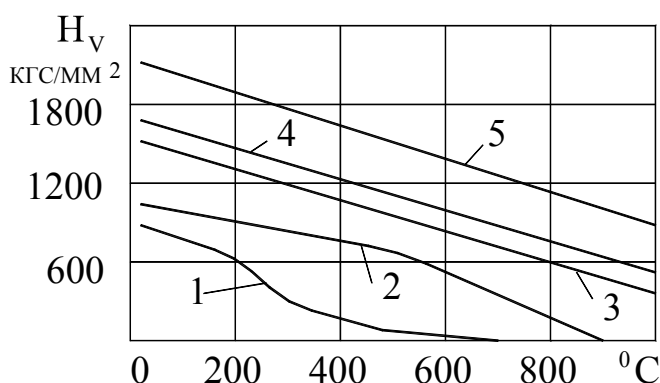


Рис. 3.17. Зависимость твердости инструментального материала от температуры: 1 – углеродистая инструментальная сталь, 2 – P18, 3 – BK8, 4 – T15K6, 5 – ЦМ332.

резцы, сверла, зенкеры, развертки, метчики, плашки, внутренние и наружные протяжки, цилиндрические, торцовые, дисковые и концевые фрезы, долбяки, червячные модульные и шлицевые фрезы, шеверы.

Применение того или иного инструментального материала зависит от группы обрабатываемости материалов (табл. 3.16).

Таблица 3.16

Зависимость марки инструментального материала от группы обрабатываемости материала

Обрабатываемый материал	Группа	Вид обработки	Марка быстрорежущей стали
Углеродистые и легированные стали	V–VI	черновая	P6M5
		чистовая	P6M5Ф3
Нержавеющие стали	VII–IX	черновая	P6M5K5, P9K5
		чистовая	P12Ф3, P6M5Ф3
Чугун, цветные металлы и сплавы	I–IV	черновая	P6M5
		чистовая	P6M5Ф3

Наиболее часто используемые быстрорежущие стали P18, P6M5 применяют для всех видов режущего инструмента при обработке обычных конструкционных материалов – фасонных, резьбовых и отрезных резцов, сверл, всех типов фрез, зуборезного инструмента, внутренних и наружных протяжек.

Быстрорежущие стали с высоким содержанием кобальта и ванадия применяют при точении и фрезеровании труднообрабатываемых и жаропрочных материалов.

Стали марок P9M4K8, 10P8M3 применяют при обработке конструкционных сталей с твердостью до **HRC_Э 40...45** и жаропрочных сплавов в условиях непрерывного резания. В условиях прерывистого ре-

зания труднообрабатываемых материалов стойкость инструмента из быстрорежущих сталей марки P6M5K5 оказывается иногда выше, чем инструмента, изготовленного из твердых сплавов.

Для каждого вида инструмента имеется своя оптимальная марка инструмента (табл. 3.17).

Таблица 3.17

Возможные области применения быстрорежущих сталей для материалов различных групп обрабатываемости [41]

Вид инструмента	Цветные металлы и сплавы I–VII гр.	Стали VIII–IX групп	Стали и сплавы X–XIV групп
Резцы	P6M5, P6M5Ф3	P6M5K5, P9K5	P9M4K8, P6M5K5
Фрезы	P6M5, P6M5Ф3	P6M5K5	P9M4K8, P6M5K5
Сверла, зенкеры	P6M5, P6M5Ф3	P6M5Ф3	P9M4K8, P6M5K5
Развертки	P6M5, P12Ф3	P6M5K5, P9K5	P9M4K8, P6M5K5
Метчики	P6M5, P12Ф3	P6M5K5, P12Ф3	P9M4K8, P9K5
Протяжки	P6M5, P18	P12Ф3, P6M5K5	P9M4K8, P9M4K8
Зуборезные инструменты	P6M5, P6M5Ф3	P6M5K5, P12Ф3 P6M5K5-МП, P9M4K8	P9M4K8, P9M4K8-МП

Титано-кобальтовые твердые сплавы (группа ТК) применяют для обработки сталей: с большим содержанием кобальта (Т5К10, Т14К8) – для черновой обработки, с меньшей (Т15К6) – для получистовой и чистой обработки, Т30К4, Т60К2 – для тонкого точения.

Вольфрамокобальтовые твердые сплавы (группа ВК) применяют для обработки чугунов, цветных металлов и их сплавов и неметаллических материалов.

Мелкогабаритный инструмент изготавливается цельным из твердого сплава, крупногабаритный инструмент оснащается пластинами из твердого сплава.

Область применения марок твердых сплавов регламентируется по ГОСТ 3882–74.

В общем, марку твердого сплава для обработки материалов обычной обрабатываемости можно выбрать по таблице 3.18.

Таблица 3.18

Рекомендации по выбору марки твердого сплава для обработки материалов обычной обрабатываемости [41]

Вид обработки	Марка твердого сплава для обработки		
	цветных металлов группы I–III	сталей группы V–VI	Чугунов группа IV
Точение: – черновое – чистовое Нарезание резьбы резцом Зенкерование Развертывание Фрезерование: – черновое – получистовое и чистовое	BK6, BK6M BK3, BK3M BK3, BK6-M BK4, BK6 BK3-M, BK6-OM BK8, BK6 BK6, BK6M	T5K10, T14K8 T30K4 T15K6, T14K8 T15K6, T14K8 T15K6, T30K4 TT7K12, T5K10 T14K8, T15K6	BK8, BK6 BK3, BK3M BK3, BK3-M BK4, BK3-M BK3, BK3-M BK8, BK6 BK6, BK4

При выборе материала инструмента для обработки труднообрабатываемых материалов рекомендуется использовать данные таблицы 3.19.

Безвольфрамовые твердые сплавы (ТМ1, ТМ3, ТН20, ТН30, ТН40, КНТ16) по прочностным свойствам уступают сплавам группы ТК, имеют более низкую ударную вязкость и теплопроводность, что делает их более чувствительными к тепловым и ударным нагрузкам. Однако эти сплавы обладают высокой окалиностойкостью, превышающей окалиностойкость сплавов на основе карбида титана (Т15К6, Т15К10) более чем в 10 раз. При обработке на высоких скоростях резания на поверхности инструмента образуется тонкая окисная пленка, выполняющая роль смазки, благодаря чему безвольфрамовые сплавы имеют низкий коэффициент трения и хорошую сопротивляемость износу, обеспечивая более качественную обработку. Инструмент, оснащенный безвольфрамовыми твердыми сплавами, рекомендуется применять при чистовой обработке конструкционных и низколегированных сталей (вместо группы ТК) и цветных металлов.

Для чистовой и получистовой обработки закаленных сталей, серых и ковких чугунов, цветных металлов часто вместо вольфрамосодержащих твердых сплавов применяют резцы, оснащенные неперетачиваемыми многогранными пластинами из **металлокерамики** марок ВЗ,

Таблица 3.19

Рекомендации по выбору марки твердого сплава
для обработки труднообрабатываемых материалов

Вид обработки	Группа обрабатываемого материала				
	сталей			сплавов	
	VII-VIII	IX-X	XIV	XI-XII	XIII
Точение: – чистовое – черновое	ВК6-М ВК10-ОМ	ВК6-М ВК10-ОМ	Т30К4	ВК6-М ВК10-ОМ	ВК6-М ВК10-ОМ
Нарезание резьбы мет- чиком	Т14К8 Т15К6	ВК8 ВК6-М	ВК8 ВК6-ОМ	ВК8 ВК6-М	ВК8 ВК6-М
Строгание и долбление: – чистовое – черновое	Т15К10 ВК8 ВК8 Т5К12	ВК8 Т5К12 ВК15-ОМ ТТ7К12	ВК10-ОМ ТТ7К12 ВК15-ОМ ТТ7К12	ВК8 ВК10-ОМ ВК8 ВК15-ОМ	ВК8 ВК10-ОМ ВК8 ВК15-ОМ
Зенкерова- ние	Т14К8 Т15К6	ВК6-М ВК6-ОМ	ВК6 ВК6-ОМ	ВК8 ВК6-ОМ	ВК8 ВК6-ОМ
Разверты- вание	Т30К4 ВК3-М	ВК6-М ВК6-ОМ	ВК6-М ВК6-ОМ	ВК6-М ВК6-ОМ	ВК6-М ВК6-ОМ
Фрезерова- ние: – чистовое – черновое	Т14К8 Т15К6 Т15К10 Т14К8	Т14К8 ТТ20К9 Т15К12 Т14К8	Т14К8 ТТ20К9 Т15К10 ВК8	ВК6 ВК10-ОМ ВК8 ВК10-ОМ	ВК4 ВК10-ОМ ВК8 ВК10-ОМ

ВОК-63, ВОК-71, ОНТ-20 (кортинит), РК-30, ЦМ-332. Материал ВОК-60 применяется и для точения прерывистых поверхностей с $V=300\dots600$ м/мин, $S=0,03\dots0,08$ мм/об при $t=0,3\dots0,5$ мм.

Сверхтвердые композиционные материалы (синтетический алмаз, нитрид бора, композиты) обладают более высокой твердостью и теплостойкостью по сравнению с быстрорежущей сталью и твердыми сплавами. Сверхтвердые материалы позволяют повысить скорость резания при обработке стали, чугуна и цветных металлов (табл. 3.20).

Таблица 3.20

Применение сверхтвердых материалов на основе КНБ

Марка материала	Область применения
Композит 01 (Эльбор Р)	Тонкое и чистовое точение без удара и торцовое фрезерование закаленных сталей и чугунов любой твердости, твердых сплавов ($Co \geq 15\%$)
Композит 03 (Исмит)	Чистовая и получистовая обработка закаленных сталей и чугунов любой твердости
Композит 05	Предварительное и окончательное точение без удара закаленных сталей ($HRC \leq 55$) и серого чугуна, торцовое фрезерование чугуна
Композит 06	Чистовое точение закаленных сталей ($HRC \leq 63$)
Композит 10 (Гексанит Р)	Предварительное и окончательное точение с ударом и без удара, торцовое фрезерование сталей и чугунов любой твердости, твердых сплавов ($Co \geq 15\%$), прерывистое точение, обработка наплавленных деталей
Томал-10	Черновое, получистовое и чистовое точение и фрезерование чугунов, точение и растачивание сталей и сплавов на основе меди, резание по литейной корке
Композит 10Д	То же
Киборит	Предварительное и окончательное точение, в том числе с ударом, закаленных сталей и чугунов любой твердости, износостойких плазменных наплавов, торцовое фрезерование закаленных сталей и чугунов

Алмазы синтетические и природные применяют для токарной обработки цветных металлов и керамики.

В последние годы расширяется область применения режущих инструментов на основе кубического нитрида бора (КНБ), вследствие его высоких режущих свойств и инертности к соединениям железа с углеродом. Основная область его применения – автоматизированное производство на базе станков с ЧПУ и автоматические линии. С развитием методов высокоскоростной обработки инструмент на основе КНБ применяется при высокоскоростном точении, фрезеровании, сверлении.

Большинство сверхтвердых материалов на основе КНБ имеет преимущества перед режущей керамикой при точении закаленных ста-

лей, чистовом и получистовом точении чугуна, а пластины марки **Томал-10** – при черновом точении и фрезеровании серого чугуна.

Эльбор Р применяют для резцов и фрез, используемых при финишной обработке деталей из закаленных конструкционных углеродистых, легированных и быстрорежущих сталей с твердостью **48...62 HRC_Э** и высокопрочных чугунов. При обработке эльбором Р обеспечивается более высокое качество поверхности по сравнению со шлифованием, так как при этом уменьшаются микротрещины, прижоги и др.

Резцы и сборные фрезы из **гексанита Р** предназначены для обработки закаленных сталей У8, ШХ15 с 46...48 HRC_Э и чугунов. При фрезеровании закаленных сталей гексанит имеет большую износостойчивость, чем эльбор Р.

При обработке термически необработанных сталей материал из поликристаллического нитрида бора (ПТНБ) эффективнее эльбора Р. Резцы из ПТНБ при обработке закаленных сталей не уступают эльбору Р, однако они не пригодны при обработке сталей, содержащих кремний, ванадий, хром, никель из-за их повышенной вязкости.

Режимы резания для инструмента из КНБ отличаются от режимов для инструмента из твердого сплава.

«Алмазное точение инструментом из поликристаллических искусственных алмазов осуществляется при подачах 0,03...0,3 мм/об, глубинах резания 0,05...1 мм со скоростями 500...300 м/мин – по алюминию и алюминиевым сплавам, 500...1500 м/мин – по меди и медным сплавам. При фрезеровании скорости повышаются в 1,5...2 раза.

Точение инструментами на основе КНБ закаленных сталей и отбеленных чугунов ведут с подачами 0,03...0,15 мм/об, глубинами резания 0,05...3 мм и скоростями 30...100 м/мин, серых и высокопрочных чугунов, медных сплавов – с подачами 0,03...0,5 мм/об, глубинами резания 0,05...4 мм, скоростями 400...800 м/мин. Уровень скоростей при фрезеровании выше в 2...4 раза» [41].

Повышение режущих свойств инструментальных материалов

Во многих случаях качество режущего инструмента оценивается интегральным показателем – периодом стойкости. Период стойкости инструмента определяется составом инструментального материала, технологией изготовления инструмента, способом его заточки, геометрическими параметрами, свойствами пары «режущий – обрабатываемый материал», факторами режима резания, применяемой СОЖ и др.

Существующая технология получения инструментальных материалов в ряде случаев еще недостаточно совершенна, поэтому стой-

кость инструмента, изготовленного из разных партий (и даже из одной партии) инструментального материала может значительно отличаться друг от друга. Это надо учитывать при изготовлении инструмента.

Стойкость инструмента выбирается по справочнику, исходя из рассчитанной скорости резания. Если необходима определенная стойкость, то ее выбирают по справочнику, но скорость резания уже будет отличаться от рассчитанной. Значения стойкости обычно находятся в пределах 30...180 мин. Меньшие значения для резцов, большие для дорогостоящего инструмента (фрез, протяжек и др.). За рубежом резание производят на более высоких скоростях, поэтому стойкость инструмента снижается. Так, для точения часто выбирают стойкость равную всего 20 минутам. Хотя при этом происходит интенсивный износ инструмента, но производительность выше и инструмент окупается.

В связи с тем, что стойкость инструмента даже в одной партии заметно отличается, при обработке в автоматизированном производстве и на станках с ЧПУ производят принудительную замену инструмента через определенный промежуток времени (меньший, чем оптимальная стойкость инструмента).

Стойкость инструментальных материалов во многих случаях оказывается недостаточной, поэтому ведется поиск новых и упрочнение существующих режущих материалов.

В настоящее время разработано значительное число методов упрочнения режущих инструментов. По характеру воздействия на инструмент эти методы условно можно разделить на четыре большие группы [5]:

1. **Механические:** алмазная заточка, дробеструйная обработка поверхности, обкатка и тренировка инструмента.

Перечисленные методы обеспечивают повышение стойкости инструмента до 2 раз.

2. **Термические и металлургические:** высокотемпературная закалка твердых сплавов, обработка холодом, введение специальных присадок, улучшающих режущие свойства инструмента.

Износостойкость повышается в 1,2...2 раза.

3. **Физико-химические:** азотирование и плакирование рабочих поверхностей инструмента, плазменное азотирование и борирование, электроискровое легирование, воздействие концентрированными пучками высоких энергий (электронные пучки и лазерное излучение), ионная имплантация.

Повышение стойкости в 2...5 раз.

4. **Метод нанесения износостойких покрытий.**

Стойкость инструмента повышается в 1,7...4 раза, а в области высоких скоростей резания в 10...15 раз.

Многослойные покрытия имеют преимущества перед однослойными.

Для обработки нержавеющей стали, жаропрочных и жаростойких сталей и сплавов применяют покрытия типа: TiC-TiCN-TiN, (Ti-Cr)N, (Ti-Cr)C, (Ti-Mo)N, для обработки титановых сплавов – NbC, (Nb-Zr)N, (Mo-Cr)N.

Нанесение многослойных покрытий толщиной не более 10...15 мкм приводит к значительному повышению стойкости и производительности труда. В то же время нарушение сплошности покрытия вследствие износа приводит к быстрому выходу инструмента из строя. Кроме того, в условиях работы с переменным припуском из-за хрупкости режущей кромки возможно ее выкрашивание.

Применение **двухслойных спеков** позволяет также повысить производительность обработки резанием. Перспективным является двухслойный спек, состоящий из подложки вольфрамсодержащего твердого сплава и рабочего слоя из сверхтвердого материала (например, Томала-10) толщиной 0,5...1 мм.

Стойкость резцов из Томала-10 при обработке серого чугуна на порядок выше, чем при использовании твердого сплава ВК8.

А стойкость резцов из Томала-10 с имплантацией дисульфида молибдена на порядок выше, чем стойкость этого инструмента без имплантации [41].

Назначение режимов резания

Режимом резания называют совокупность глубины резания, подачи, скорости резания и периода стойкости инструмента. Рациональным режимом резания называют такой, который при выполнении всех требований, предъявляемых к качеству обрабатываемой заготовки, обеспечивает при минимальной себестоимости максимально возможную для данной себестоимости производительность [4]. При назначении режима резания для конкретной операции прежде всего возникает вопрос: что целесообразнее увеличивать – глубину резания за счет уменьшения подачи, или наоборот: работать с большим сечением срезаемого слоя и меньшей скоростью резания или увеличивать скорость за счет уменьшения глубины резания и подачи.

Режим резания является функцией многих факторов процесса резания. В то же время режимом резания определяются многие технологические параметры. Для облегчения выбора режима резания определя-

ется назначение данной операции – это черновая обработка, получистовая, чистовая или отделочная.

При назначении режимов для твердосплавного инструмента руководствуются общим правилом: чем более точная обработка будет производиться, тем меньше будет величина подачи и глубина резания и больше скорость резания (рис. 3.18).

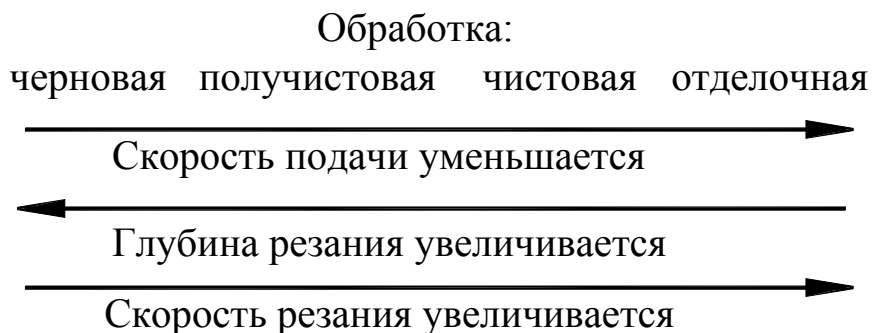


Рис. 3.18. Зависимость режима резания от вида обработки

Немаловажное значение имеет жесткость системы СПИД станка, для которого рассчитываются или выбираются режимы резания. Вначале обычно назначается глубина резания. Ее значение в первую очередь определяется жесткостью системы СПИД. Для токарного станка типа 16К20 максимальное значение глубины резания при обработке стали 45 составляет 4...6 мм. При точной расточке на координатно-расточных станках глубина резания может быть 0,1...0,02 мм. Глубина резания для фрезерного станка определяется типом фрезы. Наибольшие значения глубины резания t назначают для концевых фрез, обычно из условия:

$t = (0,1...1) \cdot d_{фр}$. Но по технологическим параметрам возможно и $t = (2...3) \cdot d_{фр}$. Меньшие значения глубины резания при фрезеровании дают более качественную обработку. Максимальная глубина резания для торцовых фрез определяется конструкцией фрезы и мощностью приводов главного движения и подачи. Для станков средней мощности $t = 3...6$ мм.

Подача S для чистовой и отделочной обработки назначается чаще всего исходя из заданной шероховатости. При черновой обработке величина подачи, с одной стороны, ограничивается мощностью привода подач, с другой – качеством обработанной поверхности. Для токарного станка типа 16К20 подача для черновой обработки составляет 0,3...0,6 мм. Для более жестких станков величина подачи может быть еще выше 0,8...1,2 мм. Для чистовой и отделочной обработки на станках повышенной точности величина подачи равна 0,05...0,01 мм. Для фрезерных станков подача назначается в мм/зуб, а для станков с ЧПУ в

мм/мин. Численное значение подачи при фрезеровании определяется жесткостью системы СПИД (особенно это актуально для концевых фрез) и требуемой величиной шероховатости.

Значение скорости резания при точении, растачивании резцами из твердого сплава рассчитывается по формуле:

$$V = \frac{C_v}{T^{m_t} x_v^{y_v} S^{y_v}} K_v \text{ м/мин,}$$

где обобщенный скоростной коэффициент

$$K_v = K_o K_m K_n K_\phi K_\delta K_c.$$

Поправочные скоростные коэффициенты учитывают:

K_o – обрабатываемость материала при определенном значении твердости или предела прочности на растяжении;

K_m – твердость или прочность обрабатываемого материала;

K_n – марку твердого материала;

K_ϕ – величину главного угла в плане резца;

K_δ – степень изношенности задней поверхности резца;

K_c – состояние поверхности заготовки детали перед обработкой.

Значения постоянной C_v и показателей степени m , x_v , y_v определяются по таблицам в справочниках, для точения и растачивания они представлены в табл. 3.21.

Таблица 3.21

Значения постоянных и показателей степени в формуле скорости резания при точении и растачивании твердосплавными резцами [4].

Материал обрабатываемой заготовки	Вид обработки ($S < 0,75$ мм/об)	C_v	m	x_v	y_v
Углеродистая конструкционная сталь	Точение	349	0,2	0,15	0,35
	Растачивание	314	0,2	0,15	0,35
Чугун	Точение	262	0,2	0,2	0,4
	Растачивание	236	0,2	0,15	0,35

Составляющие коэффициента K_v также определяются по справочнику.

Скорость резания при фрезеровании осевыми цилиндрическими, дисковыми, концевыми фрезами из инструментальных сталей рассчитывается по видоизмененной предыдущей формуле:

$$V = \frac{C_v}{T^{m_x} t^{x_v} s_z^{y_v} B^{q_v} Z^{p_v}} K_v \text{ м/мин},$$

где обобщенный скоростной коэффициент

$$K_v = K_o K_m K_n K_\omega.$$

Все коэффициенты, постоянные и показатели степени определяются по справочнику.

Для облегчения подсчета скорости резания во многих справочниках [50, 36] дается табличное значение скорости, которое затем уточняется с помощью коэффициентов.

В САПРТП-2 (г. Томск) расчет режимов резания для токарной обработки производится при формировании каждого перехода.

3.11. Формирование эксплуатационных свойств деталей

Надежность и долговечность машин зависит от эксплуатационных свойств их деталей и соединений – статической, усталостной и контактной прочности, коррозионной стойкости, герметичности, износостойкости, прочности посадок и др. Указанные свойства, в свою очередь, зависят от механических свойств материалов, точности размеров деталей, параметров качества их поверхностного слоя и условий эксплуатации [52].

Задача обеспечения качества машин решается в три этапа: конструктором – при конструировании машины, технологом – при технологической подготовке производства и рабочим – непосредственно в процессе изготовления машины.

Анализируя условия функционирования детали и технические условия на изделие, конструктор определяет эксплуатационные свойства деталей и их допустимые пределы изменения. На основе анализа определяются материал детали, размеры, допуски, параметры качества поверхностного слоя и оптимизируются эксплуатационные свойства детали. Решение этих задач возможно расчетно-аналитическим, экспериментальным или опытно-статистическим способом.

Расчетно-аналитический способ заключается в расчете механических свойств детали, точности ее размеров, взаимного расположения поверхностей и параметров качества поверхностного слоя детали, исходя из необходимости обеспечения требуемых эксплуатационных свойств.

Экспериментальный способ предусматривает окончательный выбор материалов для изготовления деталей, допусков, качества поверхностного слоя на основе испытаний опытной серии машин.

Опытно-статистический способ базируется на основе опыта конструктора и справочных данных.

Результаты решения задачи конструктора являются частью исходных данных задачи технолога. Исходя из условий производства (наличие соответствующего оборудования, оснастки, инструмента, типовых техпроцессов и т.д.) **технолог** выбирает экономически целесообразные методы изготовления. При этом учитывается взаимосвязь погрешности размеров с условиями обработки: точность оборудования, тип инструмента, режимы обработки.

На этапе производства формируется поверхностный слой детали, имеющий заданные параметры качества.

Для улучшения показателей качества проводят теоретические и экспериментальные исследования по установлению взаимосвязи эксплуатационных свойств деталей машин с условиями их обработки.

В настоящее время ведутся теоретические работы по физическому и математическому описанию формирования эксплуатационных свойств деталей в процессе их обработки. Кроме обеспечения эксплуатационных свойств деталей машин часто возникает необходимость повышения их уровня. Можно выделить четыре основных направления решения данной задачи [52]:

- совершенствование существующих методов обработки;
- управление качеством криволинейных поверхностей трения;
- модификация поверхностных слоев деталей;
- разработка новых методов обработки; создание инструментов и оснастки на основе объединения проектирования, изготовления, эксплуатации, ремонта и восстановления деталей в единый технологический процесс.

Примером реализации первого направления является вибронакатывание вместо накатывания. Введение осциллирующего движения изменило структуру поверхностного слоя детали и позволило повысить несущую способность микрорельефа, а тем самым увеличить износостойкость деталей.

Применение станков с ЧПУ, электромеханической обработки позволило увеличить долговечность криволинейных поверхностей (второе направление).

Примерами реализации третьего направления являются ионная имплантация, нанесение многослойных специальных покрытий, лазерное легирование и др.

Особенно перспективно четвертое направление. Так, использование гладкорезьбовых соединений, отличающихся высокой надежностью, дает возможность снизить себестоимость изделия благодаря исключению процесса нарезания резьбы в отверстиях и автоматизации сборки.

Формирование поверхностного слоя деталей

Многие эксплуатационные свойства деталей зависят от состояния их поверхностного слоя: наличие или отсутствие наклепа, микротрещин, твердости и др. Например, тон-вал в аудио- и видеоманитофонах, протягивающий магнитную ленту, должен обладать высокой износостойкостью. Необходимую износостойкость можно получить закалкой тон-вала. Но, оказывается, тон-вал, полученный таким способом, имеет склонность к возникновению автоколебаний, что существенно влияет на качество воспроизведения фонограммы. Выход из этой ситуации: сердцевину вала оставить незакаленной (которая будет гасить автоколебания), а поверхностный слой сделать износостойчивым путем поверхностной закалки или нанесения износостойчивого покрытия.

В процессе механической обработки заготовка подвергается упрочнению (наклепу). Управлять поверхностным упрочнением можно применением соответствующего способа пластического деформирования (рис. 3.19) или метода механической обработки (табл. 3.22).

В результате упрочнения металла его твердость повышается и в нем возникают остаточные напряжения. Для уменьшения остаточных напряжений в техпроцесс изготовления детали необходимо вводить операции искусственного или естественного старения.

При изготовлении деталей с заданными значениями выносливости (усталостной прочности) необходимо учитывать характер обработки поверхности и условия эксплуатации изделия (табл. 3.23).

Усталостная прочность детали определяется физико-химическими свойствами поверхностного слоя, в частности его упрочнением и напряженностью. Таким образом, усталостная прочность деталей машин зависит от методов и режимов заключительных операций механической обработки.

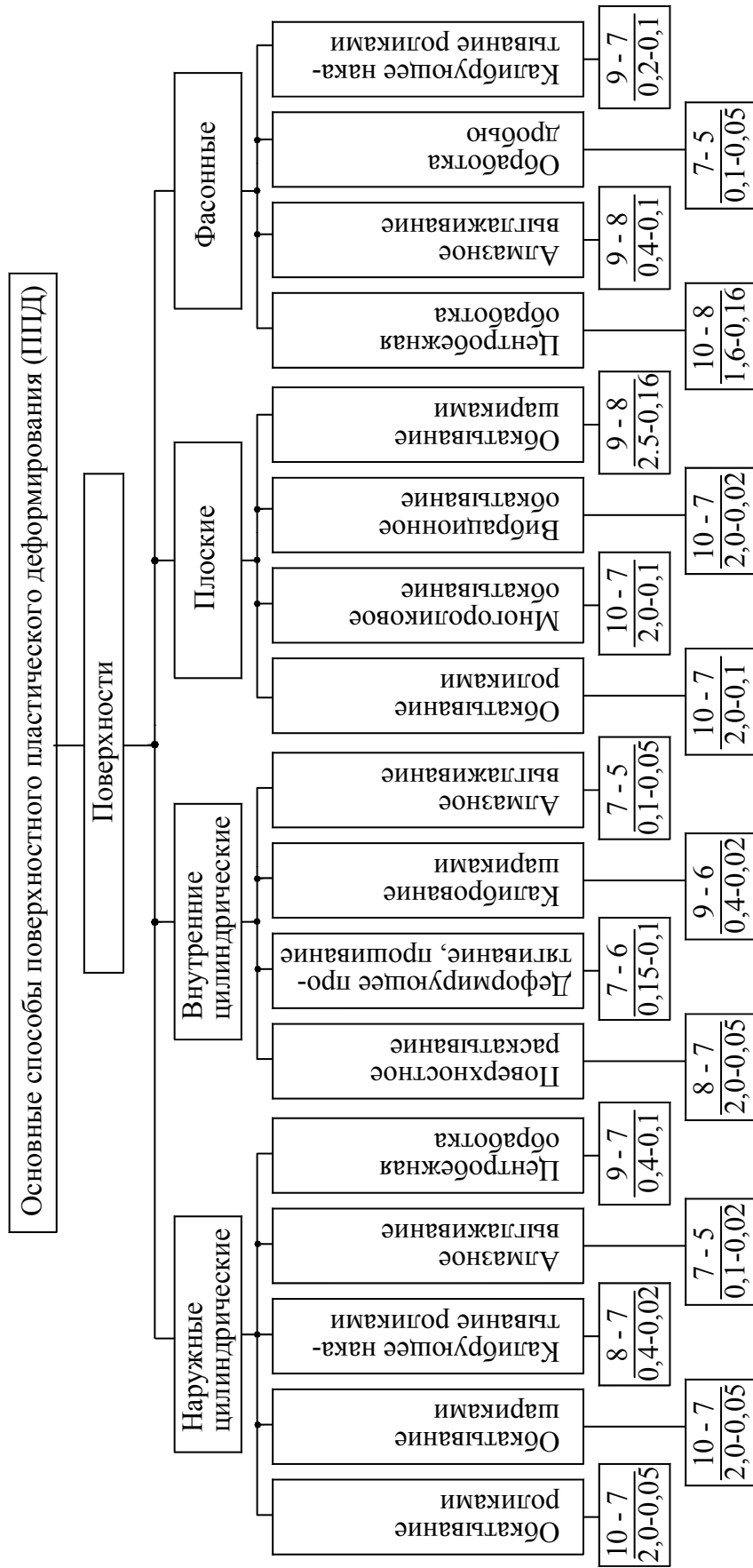


Рис. 3.19. Классификация основных способов пластического деформирования [35]: цифры в числителе означают достигаемые качества точности, в знаменателе - параметр шероховатости Ra, мкм

Таблица 3.22

Упрочнение поверхностного слоя стальных деталей при различных методах механической обработки [11]

Метод обработки	Степень наклепа $\frac{H_d \text{ поверхности}}{H_d \text{ сердцевины}} \times 100\%$		Глубина упрочнения, мкм	
	Среднее значение	Мах значение	Среднее значение	Мах значение
Точение обычное	120...150	200	30...50	200
Точение тонкое	140...180	220	20...60	–
Фрезерование торцовое	140...160	200	40...100	200
Фрезерование цилиндрическое	120...140	180	40...80	110
Сверление и зенкерование	160...170	–	180...200	250
Развертывание	–	–	–	300
Протягивание	150...200	–	20...75	–
Зубофрезерование и зубодолбление	160...200	–	120...150	–
Шевингование зуба	–	–	До 100	–
Шлифование круглое				
– незакаленная углеродистая сталь	140...160	200	30...60	–
– малоуглеродистая сталь	160...200	250	30...60	–
– закаленная сталь	125...130	–	20...40	–
Шлифование плоское	150	–	16...35	–
Притирка пастами ГОИ	112...117	–	3...7	–

Например, выносливость образцов в зависимости от способов отделочной их обработки (табл. 3.24), [24].

Для формирования поверхностного слоя заготовок применяются следующие виды обработки:

Таблица 3.23

Зависимость выносливости от характера обработки поверхности [11]

Характер обработки поверхности	Предел прочности стали σ_b , кГ/мм ²		
	47	95	142
	Предел выносливости, в %		
Тонкое полирование или притирка	100	100	100
Грубое полирование или суперфиниширование	95	93	90
Чистовое полирование или чистовая обработка резцом	93	90	88
Грубое шлифование или грубая обработка резцом	90	80	70
Поверхность с окалиной после прокатки	70	50	35
Коррозия в пресной воде	60	35	20
Коррозия в морской воде	40	23	13

Таблица 3.24

Выносливость образцов в зависимости от способа отделочной обработки (по данным Б.В. Бойцова)

Способ отделочной обработки поверхности образцов	Предел выносливости, σ_{-1} , МПа
Тонкое точение	800
Шлифование	530
Шлифование + хромирование	150
Тонкое точение + алмазное выглаживание	930
Шлифование + суперфиниширование	680
Тонкое точение + суперфиниширование	830
Тонкое точение + суперфиниширование + хромирование	500
Шлифование + суперфиниширование + хромирование	280

- химико-термическая (цементация, азотирование, нитроцементация);
- упрочнение поверхностным пластическим деформированием;
- лазерное поверхностное упрочнение;

- лазерное легирование и наплавка;
- ионная имплантация;
- плазменные методы нанесения покрытий; электроискровое легирование;
- осаждение покрытий из паровой фазы в вакууме;
- детонационно-газовое нанесение покрытий.

Величина измененного поверхностного слоя при применении перечисленных методов различна – от нескольких микрометров до 2–3 миллиметров.

3.12. Выбор маршрута обработки в зависимости от технологических и конструктивных особенностей заготовки и детали

Разработку технологического процесса начинают с анализа технологичности. Первой операцией, как правило, является заготовительная. На заготовительной операции получают заготовку, которая может разместиться на станках при последующей обработке. Из заготовки, в зависимости от размеров, можно получить одну деталь или несколько. При обработке на токарном станке упрощается обработка, если детали изготавливаются из прутка. Но в этом случае есть ограничение: диаметр прутка должен быть меньше диаметра отверстия шпинделя станка. Максимальная длина прутка не должна выходить из шпинделя на 100...200 мм.

В примерах технологических процессов раздела 3.12 не показано применяемое оборудование и средства технологического оснащения.

3.12.1. Технологический процесс изготовления детали «Вкладыш»



Рис. 3.20. Вкладыш

Из анализа технологичности детали «Вкладыш» (рис. 3.20) следует: деталь простой формы и может быть обработана на универсальном оборудовании (токарном станке); поверхность с малой шероховатостью не имеет уступов, поэтому чистовая обработка может быть выполнена на бесцентрово-шлифовальном станке; для нанесения покрытия необходима гальваническая операция.

В общем виде маршрут обра-

ботки будет состоять из следующих операций: заготовительная, токарная, токарная (или слесарная), шлифовальная, промывочная, гальваническая, консервация.

При определении размеров прутка для токарной операции исходим из того, что диаметр заготовки меньше внутреннего диаметра шпинделя. Поэтому в качестве заготовки для токарной операции выбираем прутки. Длина прутка L определится из условия:

$$L = [(l + b + 2c) n] + k,$$

где l – длина готовой детали; b – ширина отрезного резца (2,5...3 мм); c – толщина подрезки торца (0,3...1 мм); k – минимальная длина заготовки в патроне при изготовлении последней детали из прутка (10...20 мм). Из сортамента выбираем горячекатаный прутки (как самый дешевый). Диаметр прутка приближенно определится величиной допуска на горячекатаный прутки и размерами припуска (табл. 3.25), снимае-

Таблица 3.25

Ориентировочные значения припуска для разных заготовок [11].

Вид заготовки	Материал	Припуск на толщину дефектного поверхностного слоя на сторону, мм	Общий припуск на сторону, мм
Прутки – до Ø10 мм; – свыше Ø10 мм	Сталь	0,5	1...2
		1	2...3
Поковка	Углеродистая сталь	1,5...3	2...4
	Легированная сталь	2...3	3...5
Штамповка	Углеродистая сталь	0,5...1	1...3
	Легированная сталь	До 0,5	1...2
Отливка	Серый чугун	1...4	2...5
	Ковкий чугун	1...2	1,5...4
	Стальное литье	2...4	3...6
	Бронзовое литье	1...3	2...4

мого на каждой операции. Такой расчет допустим для небольшой партии заготовок в мелкосерийном производстве.

На шлифовальной операции снимается припуск 0,1...0,2 мм на сторону. На токарной операции – 0,3...1 мм. Приближенно диаметр заготовки можно подсчитать по формуле:

$$D = d + 2\Delta_T + 2\Delta_{III} + \Delta_3,$$

где: d – номинальный диаметр детали; $2\Delta_T$ – удвоенный припуск на токарную операцию; $2\Delta_{III}$ – удвоенный припуск на шлифовальную операцию, Δ_3 – величина нижнего отклонения допуска на сортамент. Взяв средние значения указанных величин, получим:

$$D = 14 + 2 \times 0,5 + 2 \times 0,15 + 0,5 = 15,8 \text{ мм.}$$

Ближайшее большее значение диаметра заготовки равно 16 мм.

Диаметр прутка точнее определится при **расчете минимальных припусков** [50].

Запишем технологический процесс в порядке следования операций (табл. 3.26). Название операций определяется типом оборудования. Технологический процесс изготовления вкладыша (рис. 3.21, табл. 3.26)

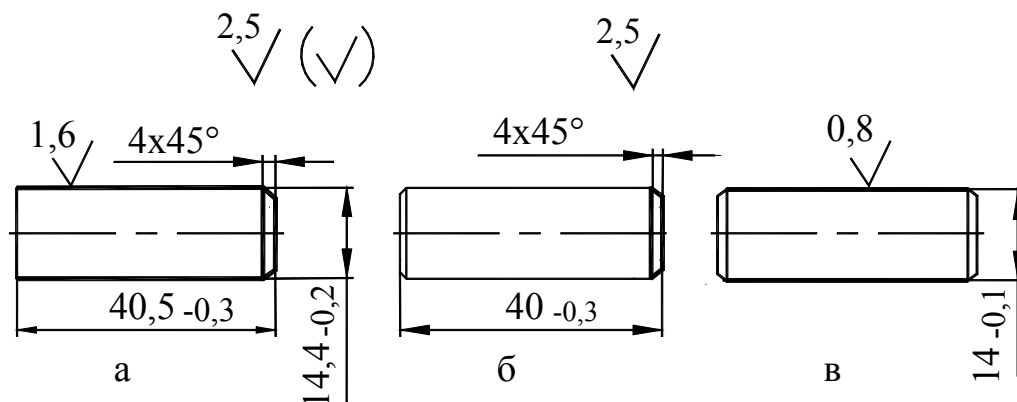


Рис. 3.21. Операционные эскизы к техпроцессу изготовления вкладыша: а – токарная; б – токарная; в – шлифовальная

Таблица 3.26

Описание технологического процесса изготовления вкладыша

<p>005 Заготовительная Отрезать заготовку согласно ведомости карты раскроя заготовок (ВКРМЗ)</p>
<p style="text-align: center;">010 Токарная</p> <p>А. Установить заготовку в трехкулачковый патрон. База: наружный диаметр и правый торец.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Подрезать торец, сняв припуск 0,5 мм. 2. Точить диаметр $14,4_{-0,2}$ на длину 43 мм. 3. Снять фаску $2 \times 45^\circ$. 4. Отрезать деталь в размер $40,5_{-0,3}$ мм.

015 Токарная
А. Установить заготовку в трехкулачковый патрон. База: наружный диаметр и левый (по эскизу) торец.
1. Подрезать правый торец, выдерживая размер $40_{-0,3}$ мм. 2. Снять фаску $2 \times 45^\circ$, притупить острые кромки.
020 Бесцентрово-шлифовальная
Шлифовать наружный диаметр в размер по чертежу ($\varnothing 14_{-0,1}$).
025 Промывочная
Промыть детали согласно типовому техпроцессу.
030 Гальваническая
Покрыть детали согласно чертежу.
035 Консервация
Консервировать детали согласно типовому техпроцессу.

3.12.2. Технологический процесс изготовления детали «Стойка»

Выполним анализ технологичности детали «Стойка» (рис. 3.22). Деталь имеет цилиндрическую форму, поэтому первые операции будут токарные.

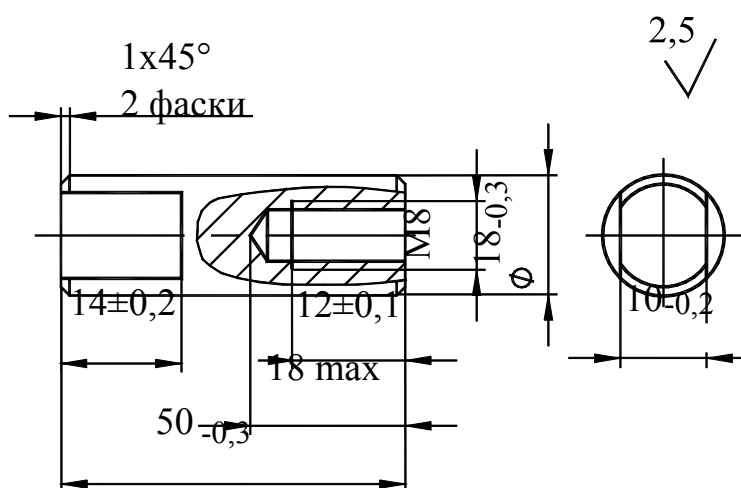


Рис. 3.22. Стойка

Все размеры имеют невысокую точность, поэтому оборудование может быть класса точности «Н» (нормальной точности). Отверстие под резьбу будет выполняться на токарном станке, так как расположено по центру. Поверхность $\varnothing 18_{-0,3}$ и отверстие под резьбу будет обработано за

одну установку, поэтому будет иметь минимальную погрешность соосности. Резьбу лучше нарезать на слесарной операции, так как резьба нарезается в глухом отверстии. В связи с тем, что будет применен комплект ручных метчиков, шероховатость резьбы станет меньше. При фрезеровании лысок деталь лучше установить в трехкулачковом патро-

не – этим обеспечится лучшее центрирование оси заготовки. Лишение 4-х степеней свободы по наружному диаметру на фрезерной операции позволит иметь минимальную погрешность параллельности плоскости лысок к оси (наружному цилиндру) детали (табл. 3.27).

Таблица 3.27

Маршрутный техпроцесс изготовления стойки

005 Заготовительная	
1. Отрезать заготовку в размеры по ВКРМЗ (на несколько деталей)	
	<p style="text-align: center;">010 Токарная</p> <p>А. Установить заготовку в трехкулачковый патрон. База: наружный диаметр и торец.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Подрезать торец, сняв припуск 0,5 мм. 2. Точить поверхность $\text{Ø}18_{-0,3}$ на длину $53,5_{-0,3}$ мм. 3. Снять фаску $1 \times 45^\circ$. 4. Сверлить отверстие $\text{Ø}6,7$ мм на глубину 18 max. 5. Зенковать фаску в отверстии $1 \times 45^\circ$. 6. Отрезать деталь, выдерживая размер $50,5_{-0,3}$ мм.
	<p style="text-align: center;">015 Токарная</p> <p>А. Установить заготовку в трехкулачковый патрон. База: наружный диаметр и левый торец.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Подрезать торец в размер $50_{-0,3}$ мм. 2. Снять фаску $1 \times 45^\circ$. 3. Притупить острые кромки.

	<p>020. Фрезерная</p> <p>А. Установить заготовку в трехкулачковый патрон. База: наружный диаметр и торец. Фрезеровать 2 лыски, выдерживая размеры $12_{-0,2}$ мм и $14_{\pm 0,2}$ мм.</p>
<p>025 Слесарная</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Снять заусенцы, притупить острые кромки. 2. Нарезать резьбу М8. 3. Зачистить вход резьбы. 	
<p>030 Промывочная</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Промыть детали по типовому техпроцессу. 	
<p>035 Консервация</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Консервировать детали по типовому техпроцессу. 	

3.12.3. Технологический процесс изготовления детали «Болт»

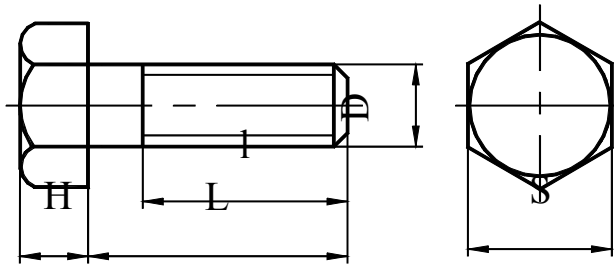


Рис. 3.23. Эскиз болта

Для изготовления болта (рис. 3.23) может быть предложено несколько вариантов маршрутов обработки.

Вариант № 1. В качестве заготовки выбран холоднотянутый шестигранный пруток размера S . Основная обработка по этому техпроцессу (рис. 3.24, а) может производиться

как на токарном станке, так и на токарно-револьверном автомате. Заготовку необходимо зажимать в шестигранной цанге. Этим исключается смещение оси головки болта относительно его тела. Пруток подается до упора и подрезается торец в размер t . Затем заготовка обтачивается с получением всех операционных размеров. Оставлен припуск для подрезки торца головки (размер $H1$). Базирование предопределяет параллельность оси получаемого цилиндра оси заготовки (оси головки болта).

На следующей операции (рис. 3.24, б) производится подрезка торца в размер H .

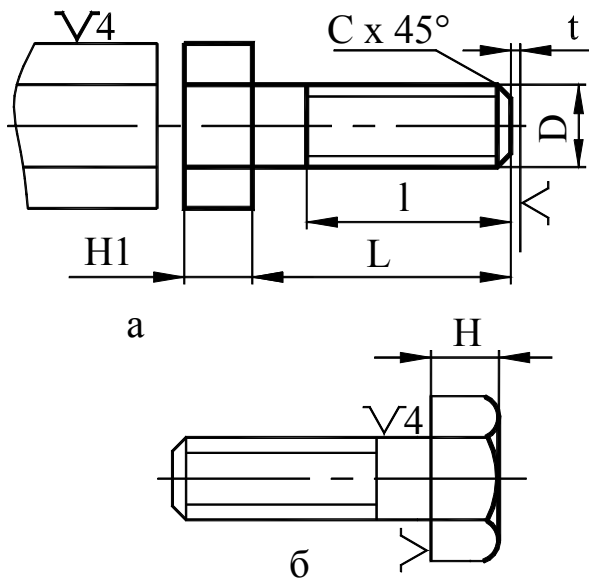


Рис. 3.24. Последовательность обработки болта (вариант №1)

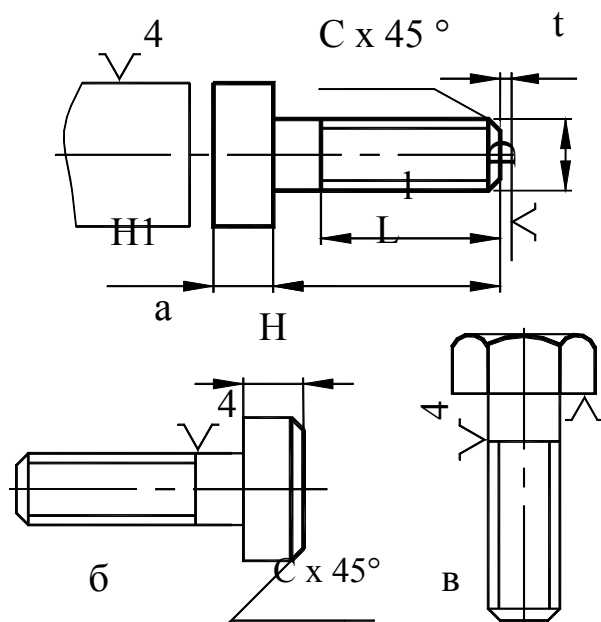
ток цилиндрического сечения. Если пруток холоднотянутый, то можно применить для изготовления детали и токарно-револьверный автомат, и токарный станок с ЧПУ с цанговыми зажимами (более точное центрирование заготовки).

Если пруток горячекатаный (более дешевый, но менее точный, и поэтому в зажимную цангу его не устанавливают), то обработку целесообразнее вести на токарном станке с ручным управлением. Закрепление заготовки будет производиться в трехкулачковом патроне.

На первой операции, токарной, подрезается торец в размер t , затем, используя подрезанный торец в качестве базы, получают все операционные размеры (рис. 3.25, а).

На второй операции, токарной, подрезается торец головки и протачивается фаска (рис. 3.25, б). На третьей опе-

Рис. 3.25. Техпроцесс изготовления болта (вариант № 2)



рации, фрезерной, фрезеруется шестигранник в размер s (рис. 3.25 в). В связи с тем, что заготовка лишается по цилиндру 4-х степеней свободы, смещение оси головки относительно оси цилиндра будет минимальным. Данный технологический процесс применяется для изготовления болтов специального назначения (для приборостроения, авиации, космических аппаратов). Для последующего снятия заусенцев после фрезерования необходима слесарная операция.

3.12.4. Технологический процесс изготовления детали «Втулка»

Из анализа технологичности детали «Втулка» (рис. 3.26) следует: деталь простой цилиндрической формы и может быть обработана на универсальном оборудовании (токарном станке); поверхность с малой шероховатостью не имеет уступов, поэтому может быть обработана на внутришлифовальном станке; обработка пазов может быть выполнена

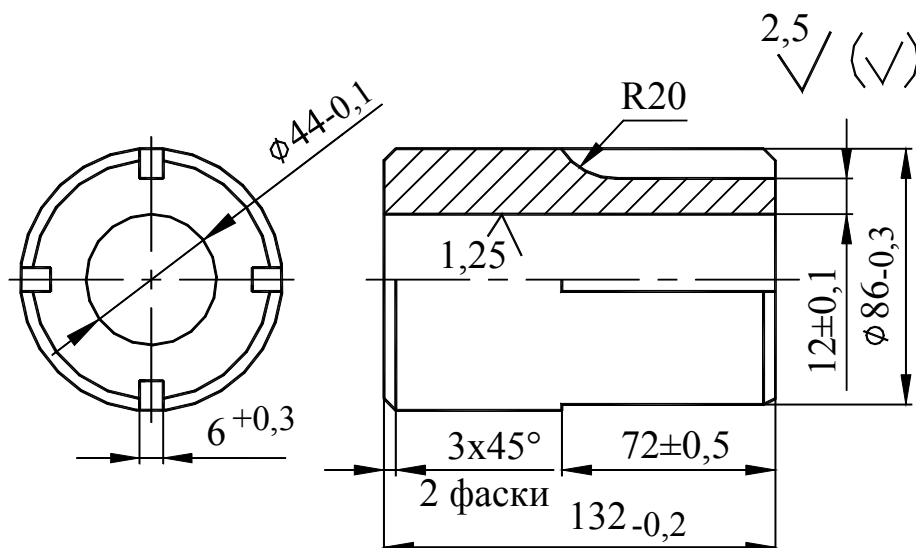


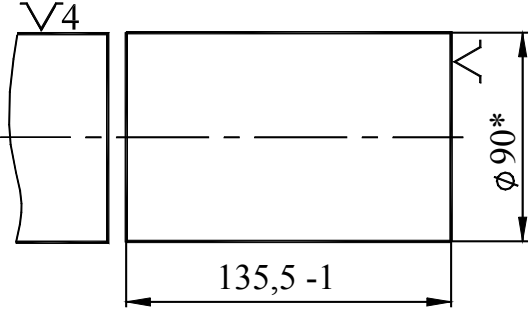
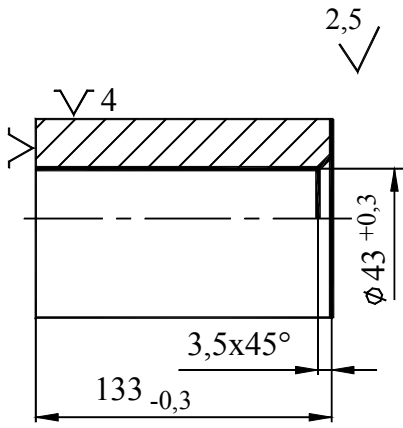
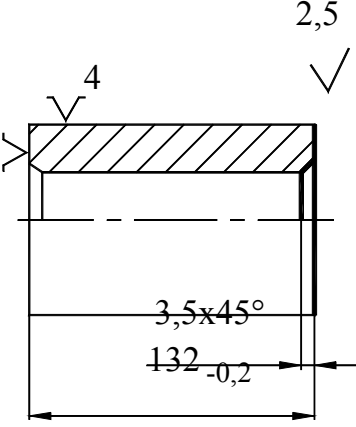
Рис. 3.26. Втулка

на фрезерном станке; для фрезерования пазов под углом 90° необходимо применить поворотное приспособление с трехкулачковым патроном. При фрезеровании пазов заготовку лучше бы закрепить по наружному диаметру для большей жесткости. Но в чертеже стоит размер $12_{\pm 0,1}$ от внутреннего диаметра. Для совмещения конструкторской базы с технологической (для минимизации погрешности установки) заготовку на фрезерной операции необходимо установить на оправку. Оправка будет установлена в трехкулачковом патроне поворотного приспособления.

Описание технологического процесса изготовления втулки представлено в таблице 3.28.

Таблица 3.28

Технологический процесс изготовления детали «Втулка»

	<p>005 Заготовительная</p> <p>А. Установить заготовку в призмы. База: наружный диаметр и торец.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Отрезать заготовку, выдерживая размер $135,5_{-1}$ мм
	<p>010 Токарная</p> <p>А. Установить заготовку в трехкулачковый патрон. База: наружный диаметр и торец.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Подрезать торец в размер $133_{-0,3}$ мм. 2. Сверлить отверстие $\text{Ø}38$ мм. 3. Расточить отверстие до $\text{Ø}43_{+0,3}$ мм. 4. Снять фаску $3,5 \times 45^\circ$ мм (в чертеже $3 \times 45^\circ$).
	<p>Б. Переустановить заготовку в трехкулачковом патроне. База: наружный диаметр и торец.</p> <ol style="list-style-type: none"> 5. Подрезать торец в размер $133_{-0,3}$ мм. 6. Снять фаску $3,5 \times 45^\circ$ мм (в чертеже $3 \times 45^\circ$).

	<p>015 Токарная</p> <p>А. Установить заготовку на оправку.</p> <p>База: внутренний диаметр и торец.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Точить наружный диаметр в размер $\varnothing 86_{-0,3}$ мм. 2. Снять заусенцы, притупить острые кромки.
	<p>020 Внутришлифовальная</p> <p>А. Установить заготовку в трехкулачковый патрон.</p> <p>База: наружный диаметр и торец.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Шлифовать внутренний диаметр в размер $\varnothing 44^{+0,1}$ мм.
	<p>025 Фрезерная</p> <p>А. Установить заготовку в шпинделе поворотного приспособления на оправке.</p> <p>База: внутренний диаметр и торец.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Фрезеровать 4 шлица в размеры по чертежу.
<p>030 Слесарная</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Снять заусенцы, притупить острые кромки. 	
<p>035 Промывочная</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Промыть детали по типовому техпроцессу. 	
<p>040 Консервация</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Консервировать детали по типовому техпроцессу. 	

3.12.5. Технология изготовления конической втулки

Коническая втулка (рис. 3.27) является корпусом для изолятора. Внутренняя полость втулки заполняется стеклом, поэтому в качестве материала втулки выбран сплав 29НК, имеющий одинаковый со стеклом коэффициент линейного расширения.

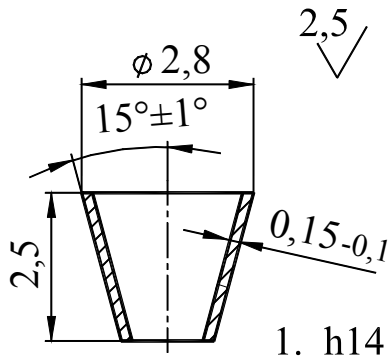


Рис. 3.27. Втулка коническая

Однако этот материал обладает повышенной прочностью и пластичностью, что затрудняет в отдельных случаях обработку резанием. Втулка обрабатывалась на токарном станке повышенной точности.

В связи с увеличением программы выпуска обработку данной детали начали изготавливать на автомате фасонно-продольного точения. Обработка поверхностей производилась в следующей последовательности.

После подрезки торца прутка сверлилось отверстие, которое потом рассверливалось коническим сверлом до необходимого размера. Затем производилась обточка наружного диаметра и отрезка готовой детали от прутка.

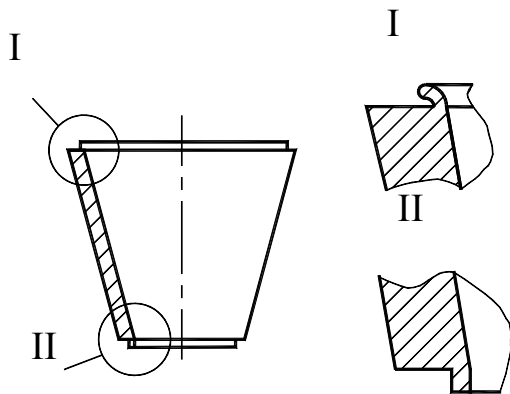


Рис. 3.28. Заусенцы на втулке

После рассверливания и отрезки, из-за высокой пластичности материала на втулке оставались трудноотделяемые заусенцы (рис. 3.28). Было предпринято несколько вариантов удаления этих заусенцев. Вначале рассматривался вариант удаления заусенцев обработкой резанием.

Однако тонкостенную втулку было трудно зажимать, так как даже при малой силе зажима сила резания превосходила силу зажима и деталь не фиксировалась, при увеличении силы зажима деталь деформировалась.

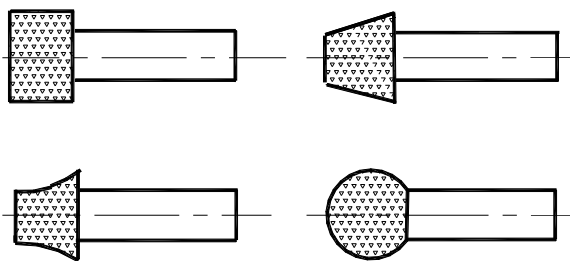


Рис. 3.29. Шлифовальные круги

По второму варианту втулка удерживалась силой трения в приспособлении, а в качестве режущего инструмента применялись нестандартные шлифовальные круги (рис. 3.29), изготовленные методом напыления ал-

мазного порошка на державку, имеющую специальную форму. Но и этот инструмент оказался неэффективным из-за высокой пластичности и прочности материала втулки. Инструмент или моментально засаливался, или сцепление алмазного порошка с державкой оказывалось недостаточно прочным.

Другие способы удаления заусенцев резанием оказались также неэффективными. При анализе электроэрозионных способов обработки было выяснено, что их производительность была довольно низкой, поэтому стоимость изготовления втулок могла резко возрасти. Выход был найден в электроалмазном шлифовании, причем просто решался и вопрос закрепления втулок (рис. 3.30). Втулки устанавливались на маг-

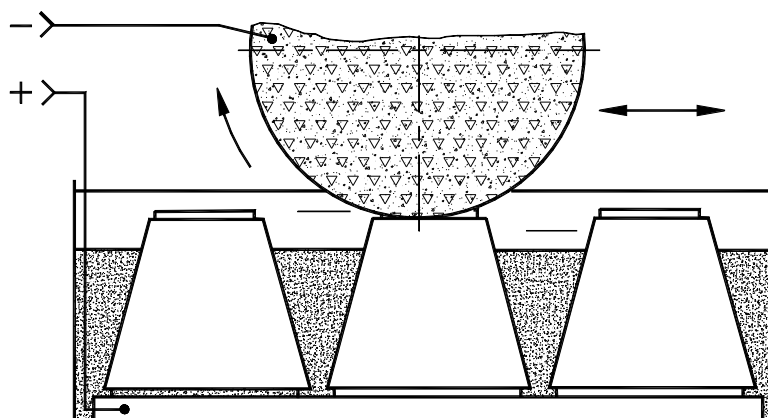


Рис. 3.30. Электроалмазное шлифование

нитном столе станка для электроалмазного шлифования, засыпались магнитным порошком и притягивались к столу. Сверху порошка заливался электролит. Крупные заусенцы удалялись шлифовальным кругом, а

более мелкие – эрозией в электрическом поле между шлифовальным кругом и электролитом. После полного удаления заусенцев с одной стороны, втулки переустанавливались меньшим

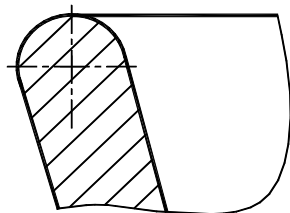


Рис. 3.31. Форма краев втулки

диаметром вниз. Затем засыпался магнитный порошок, заливался электролит и втулки обрабатывались с другой стороны. Одним из достоинств данного вида обработки явилось то, что края втулки после электроалмазного шлифования имеют скругленную форму, что трудно выполнимо при обработке резанием (рис. 3.31). Шероховатость обработки стала

значительно ниже, чем при обработке на автомате фасонно-продольного точения.

3.12.6. Технология изготовления детали «Рычаг» [38]

Деталь «Рычаг» (рис. 3.32) используется в транспортных машинах, изготавливается из стали 40Х. Заготовкой является штамповка, полученная на паровоздушном молоте в горячем состоянии. На механо-

--	--

Продолжение табл. 3.29

<p>020 Термическая</p> <p>1. Отжечь заготовку согласно типовому техпроцессу.</p>	
	<p>030 Вертикально-фрезерная</p> <p>А. Установить заготовку в приспособление. База: торцы головок 1 и 2 и цилиндрические поверхности головок.</p> <p>1. Фрезеровать торцы головок в размеры по эскизу.</p>

	<p>040 Вертикально-фрезерная</p> <p>А. Установить заготовку в приспособление. База: торцы головок 3 и 4 и цилиндрические поверхности головок.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Фрезеровать торцы головок 1 и 2 в размеры по эскизу. 2. Притупить острые кромки
--	--

Окончание табл. 3.29

	<p>050 Радиально-сверлильная</p> <p>А. Установить заготовку в приспособление.</p> <p>База: торцы головок 3 и 4 и цилиндрические поверхности головок.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Сверлить, зенкеровать, развернуть последовательно отверстия большой и малой головок в размеры по эскизу. 2. Притупить острые кромки.
--	--

	<p>060 Вертикально-фрезерная А. Установить заготовку в специальное приспособление. База: торцы головок и конические отверстия. 1. Фрезеровать начисто торцы головок согласно эскизу.</p>
<p>070 Слесарная 1. Снять заусенцы, притупить острые кромки.</p>	
<p>080 Промывочная 1. Промыть детали по типовому техпроцессу.</p>	
<p>090 Консервация 1. Консервировать детали по типовому техпроцессу.</p>	

Заготовка имеет простую форму, однако возникают трудности при базировании и закреплении заготовки на станке, так как базой должны быть одновременно торцы большой и малой головок. Для закрепления заготовки на столе фрезерного станка можно применить универсальное станочное приспособление (УСП), при повторяющихся партиях лучше изготовить специальное зажимное приспособление.

3.13. Выбор маршрута обработки в зависимости от возможностей оборудования и инструмента

На предприятии имеется определенный парк станочного оборудования. Выбор маршрута обработки зависит от многих факторов, в том числе и от имеющегося в наличии оборудования. Если имеется несколько вариантов построения маршрута, то оптимальный выбор определяется производительностью имеющегося оборудования, размером изготавливаемой партии деталей и сроками изготовления. Наиболее подходящий вариант определится экономическими расчетами.

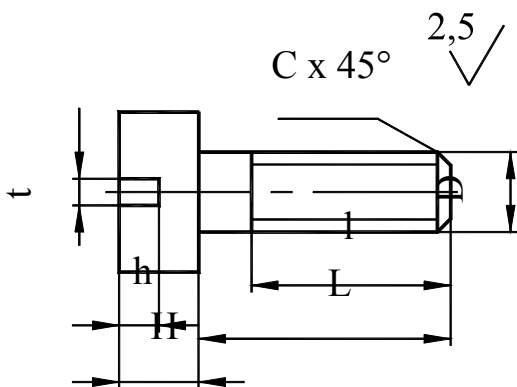


Рис. 3.33. Эскиз винта

Например, для изготовления винта (рис. 3.33) на данном предприятии возможно применение 3-х вариантов маршрутов обработки (табл. 3.30).

Таблица 3.30

Сравнительные характеристики вариантов технологических процессов

Вариант № 1		Вариант № 2		Вариант № 3	
Операции	Q, шт/ час	Операции	Q, шт/ час	Операции	Q, шт/ час
1	2	3	4	5	6
1. Заготовительная Распаковать бухту с проволокой		1. Заготовительная Отрезать заготовку длиной 2 м		1. Заготовительная Отрезать заготовку длиной 1 м	

Продолжение табл. 3.30

1	2	3	4	5	6
2. Холодно-высадочная Изготовить деталь с диаметром под резьбу, головкой и шлицом	1000	2. Автоматная Проточить заготовку, нарезать резьбу, отрезать готовую деталь	30	2. Токарная Проточить заготовку, нарезать резьбу, отрезать готовую деталь	30
3. Галтовочная Притупить острые кромки	2000	3. Фрезерная Фрезеровать шлиц согласно чертежу	100	3. Фрезерная Фрезеровать шлиц согласно чертежу	100
4. Резьбо-накатная Накатать резьбу согласно чертежу	1500	4. Слесарная Снять заусенцы, притупить острые кромки	100	4. Слесарная Снять заусенцы, притупить острые кромки	100

5. Промы- вочная Промыть де- тали соглас- но ТТП	2000	5. Промы- вочная Промыть детали согласно ТТП	2000	5. Промы- вочная Промыть дета- ли согласно ТТП	2000
6. Консерва- ция Консервиро- вать детали согласно ТТП	2000	6. Консерва- ция Консервировать детали согласно ТТП	2000	6. Консерва- ция Консервиро- вать детали со- гласно ТТП	2000

Наиболее производительным является первый вариант, наименее производительным – третий. В разных вариантах используется различное оборудование и различные заготовки. Техпроцессы отличаются количеством операций и качеством изготовленной продукции. Так, винт, изготовленный по первому варианту, имеет большую прочность резьбового соединения потому, что при накатке резьбы текстура волокон заготовки не перерезается, а деформируется.

3.14. Последовательность обработки поверхностей при наличии допусков их взаимного расположения

При наличии допусков взаимного расположения поверхностей проектирование технологического процесса механической обработки вызывает определенные трудности. Выход из этой ситуации может быть таким. Сначала определяется последняя, заключительная операция технологического процесса механической обработки. А затем, обрабатывая базовые поверхности на этой операции, получим предпоследнюю операцию и т.д., пока не определится заготовительная операция. Такая же последовательность была использована при расчете минимального припуска. Если обозначить заключительную операцию как n , то предпоследняя операция обозначится $n-1$, предпредпоследняя – $n-2$, и т.д., а заготовительная – как $n-m$. На заключительной операции механообра-

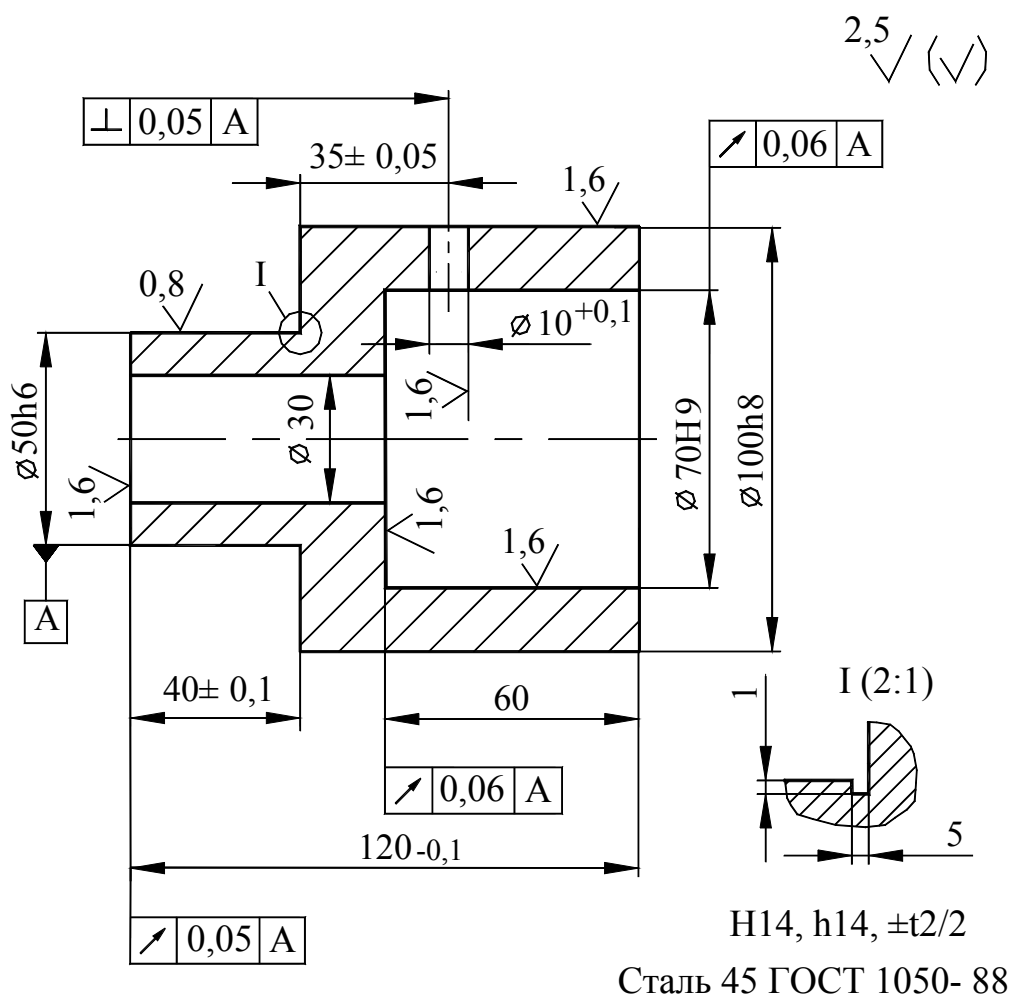


Рис. 3.34. Чертеж детали (фаски не показаны)

ботки обрабатывается самая точная поверхность, а базой для нее служит обычно поверхность на 1...2 квалитета грубее. При наличии допуска взаимного расположения между этими поверхностями как более точно, чем допуски на размеры этих поверхностей, базой выбирается поверхность, связанная допуском взаимного расположения. Все допуски

взаимного расположения поверхностей формируются на *последних* операциях технологического маршрута. На рис. 3.34 представлен чертеж детали, на котором имеется 4 допуска взаимного расположения поверхностей. Из анализа чертежа видно, что самый точный размер – $\varnothing 50h6$. Согласно правилам разработки технологических процессов этот размер должен обрабатываться на последней формообразующей операции. По Матвееву В.В. [46], 6 квалитет точности для незакаленных сталей можно получить следующей последовательностью операций: точение, шлифование предварительное, шлифование тонкое, полирование. Данная последовательность операций является *экономически обоснованной* и применяется при больших партиях деталей. Для мелкосерийного производства допускается применение *технически достижимой* обработки. С учетом того, что токарная обработка будет производиться на станках с ЧПУ повышенной точности (СТП220АП), предлагается следующая последовательность обработки: токарная с ЧПУ, шлифование чистовое. Для повышения точности обработки увеличивают время выхаживания. При этом съем металла производится за счет упругого восстановления обработанной поверхности. Но данный способ является неэкономичным. Поверхность $\varnothing 50h6$ связана с другими поверхностями 4-мя допусками взаимного расположения. Причем все связанные поверхности имеют нежесткие допуски на размеры.

При обработке поверхности $\varnothing 50h6$ в качестве базовой желательно взять поверхность по 7 квалитету и связанную с ней допуском взаимного расположения. Но по чертежу детали нет 7 квалитета, а наиболее точная поверхность (после $\varnothing 50h6$) $\varnothing 100h8$ не связана с $\varnothing 50h6$ допуском взаимного расположения. Допуском взаимного расположения с $\varnothing 50h6$ связана внутренняя поверхность $\varnothing 70H9$. Поверхность $\varnothing 70H9$ могла обрабатываться последней, если бы имела 6 или 7 квалитет точности, так как при шлифовании принято обрабатывать вначале наружную цилиндрическую, а затем внутреннюю цилиндрическую поверхность.

Если бы торец $\varnothing 70H9$ не был бы связан с обрабатываемой поверхностью допуском взаимного расположения, то наилучшим вариантом для базирования при обработке $\varnothing 50h6$ была бы наружная цилиндрическая поверхность $\varnothing 100h8$. Эта поверхность имеет точный допуск h8, большую протяженность (хорошее базирование) и наибольшую жесткость. При таком базировании цилиндр необходимо лишить 4-х степеней свободы. В этом случае шлифуемая поверхность $\varnothing 50h6$ была бы параллельна цилиндрической поверхности $\varnothing 100h8$ с минимальной погрешностью.

Базовой поверхностью для обработки $\varnothing 50h6$ принята поверхность $\varnothing 70H9$, так как она связана допусками взаимного расположения со шлифуемой поверхностью. При базировании по внутреннему цилиндру может быть несколько вариантов (рис. 3.35, а, б, в). Необходимо отметить, что при назначении допусков взаимного расположения конструктором

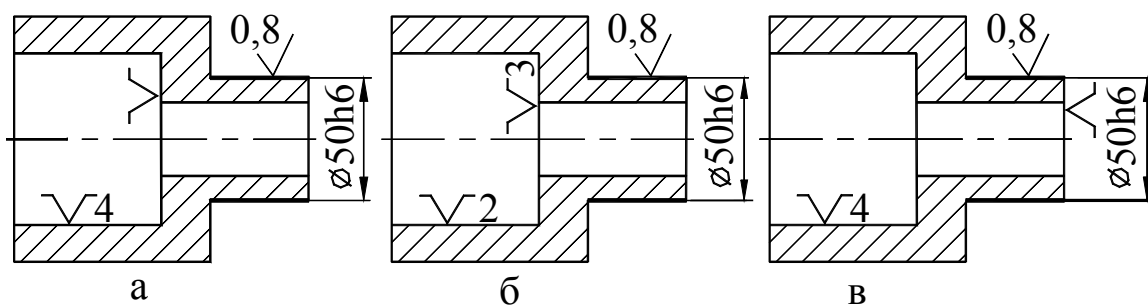


Рис. 3.35. Операционный эскиз для шлифования поверхности $\varnothing 50h6$:

а, б, в – возможные варианты базирования

была допущена неточность: задано радиальное биение и по торцу, и по цилиндру $\varnothing 70H9$. Это вызывает определенные трудности при базировании по $\varnothing 70H9$. Если отдать предпочтение базированию по торцу, то его необходимо лишить 3-х степеней свободы (рис. 3.35, б). При этом цилиндр $\varnothing 50h6$ будет не перпендикулярен к торцу $\varnothing 70H9$ с меньшей погрешностью и будет выдержано радиальное биение торца относительно $\varnothing 50h6$. Если цилиндр $\varnothing 70H9$ лишить 4-х степеней свободы, то $\varnothing 50h6$ будет параллелен $\varnothing 70H9$ с меньшей погрешностью и будет выдержано радиальное биение цилиндра $\varnothing 70H9$ относительно $\varnothing 50h6$ (рис. 3.35, а). Выбор одного из перечисленных вариантов возможен при детальном рассмотрении конструкции изделия, в которой установлена данная деталь. Если конструкция сборочного изделия неизвестна, то выбирается вариант базирования (по рис. 3.35, а), с тем чтобы обеспечить параллельность осей $\varnothing 50h6$ и $\varnothing 70H9$.

Наружное шлифование цилиндрических поверхностей производится на круглошлифовальных станках. Для экономичности обработки на обрабатываемой цилиндрической поверхности делают кольцевую проточку для выхода шлифовального круга. Шлифовальный круг при этом по торцу не изнашивается. В противном случае нужна частая переточка шлифовального круга. Ряд круглошлифовальных станков предназначен для обработки не только цилиндрических поверхностей, но и торцевых. В этом случае возможно два варианта получения $\varnothing 50h6$.

В первом варианте (рис. 3.36, а) размер $40 \pm 0,1$ получен на предыдущей операции, и в данном случае не выдерживается. Во втором варианте (рис. 3.36, б) обрабатывается торец детали и выдерживается размер

120 \pm 0,1. Затем, используя обработанный торец как базу, обрабатывают $\phi 50h6$ и выдерживают размер $40\pm 0,1$. Так как шлифовальный станок

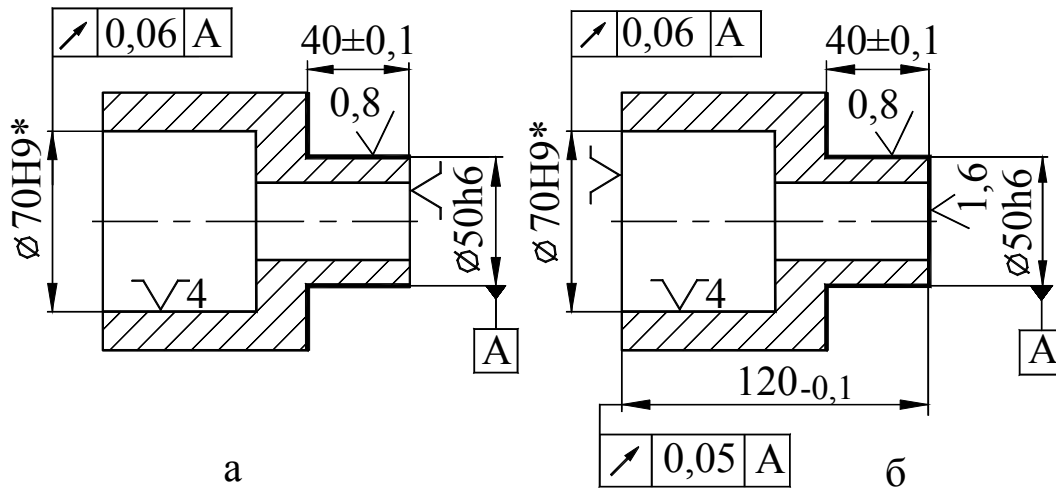


Рис. 3.36. Варианты обработки $\phi 50h6$ на круглошлифовальных станках

предназначен для точной обработки, то за счет обработки за одну установку выдерживается биение торца $\phi 50h6$ к цилиндрической поверхности, а за счет базирования по цилиндру $\phi 70H9$ обеспечивается радиальное биение цилиндра $\phi 70H9$ к цилиндру $\phi 50h6$.

Предпоследняя ($n-1$) операция может быть плоскошлифовальная (рис. 3.37), если на последней операции не обрабатывается торец $\phi 50h6$. Чтобы обеспечить минимальную погрешность радиального биения на последней операции, на плоскошлифовальной операции необходимо базироваться по $\phi 50,4h8$ (условно принят припуск на шлифование 0,2 мм на сторону). Однако практически это нереально. Поэтому в качестве базы будет использоваться цилиндрическая поверхность $\phi 70H9$. Эта же поверхность будет использована как базовая и на последней операции. Принцип постоянства баз будет соблюден и погрешность обработки будет минимальной.

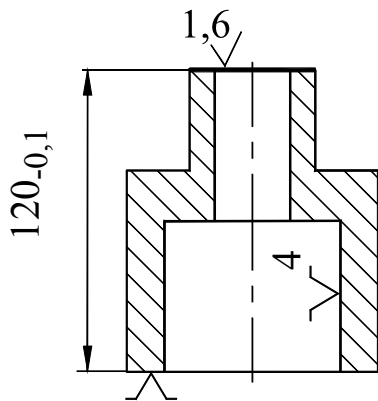


Рис. 3.37. Операционный эскиз плоскошлифовальной операции

На последней операции в качестве базы использована цилиндрическая поверхность $\phi 70H9$. Данная поверхность имеет шероховатость $Ra 1,6$ мкм. Она будет получена внутренним шлифованием на $n-2$ операции. В качестве базы желательно использовать $\phi 100h8$. Эта поверхность точна, достаточно протяженна, имеет повышенную жесткость. Но она никак не связана с внутренней поверхностью.

Поэтому за базу будет принята поверхность $\varnothing 50,4h8$ (рис. 3.38), так как она по чертежу детали связана допуском взаимного расположения с обрабатываемой поверхностью.

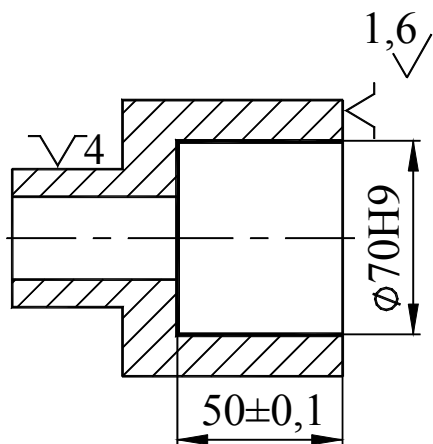


Рис. 3.38. Операционный эскиз внутришлифовальной операции

Отверстие $\varnothing 10$ можно было бы получить на сверлильном станке по кондуктору, используя следующий набор инструментов: сверло, зенкер, развертка. При небольшой глубине отверстия, при $d \approx 1$, и небольшом диаметре отверстия, можно сразу после сверла использовать развертку, чтобы получить необходимую шероховатость.

Для данной детали кроме $\varnothing 10$ необходимо выдержать размер $35 \pm 0,05$ до оси отверстия и отклонение от перпендикулярности к поверхности $\varnothing 50h6$. Указанные требования можно выполнить только на координатно-расточном станке, используя следующий набор инструментов: сверло, расточной резец. Так как на координатно-расточных станках кондукторы обычно не используются, то для направления сверла вначале необходимо зацентрировать отверстие центровочным сверлом.

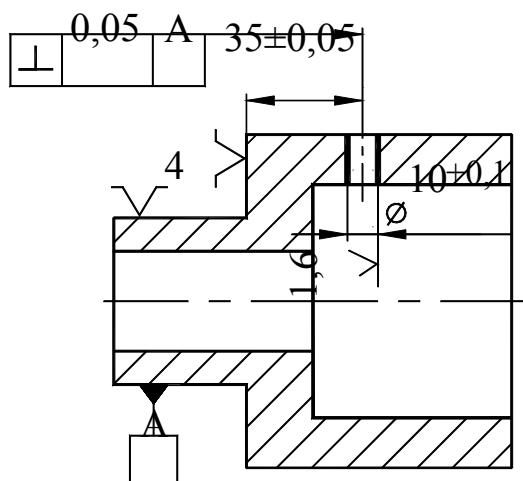


Рис. 3.39. Операционный эскиз координатно-расточной операции

Базой будет цилиндрическая поверхность $\varnothing 50h6$ и торец $\varnothing 100h8$ (рис. 3.39). По цилиндрической поверхности деталь должна быть лишена 4-х степеней свободы, так как относительно нее определяется отклонение от перпендикулярности. По торцу деталь может быть лишена одной степени, потому что от торца выдерживается всего один размер $35 \pm 0,05$. Размер этот точен, поэтому должен быть выдержан от окончательно обработанного торца. Отсюда следует, что **на заключительной (n -й) операции должно**

обрабатываться отверстие $\varnothing 10$. Предпоследняя ($n-1$) операция – получение $\varnothing 50h6$ и размера $40 \pm 0,1$. На операции $n-2$ – обработка отверстия $\varnothing 70H9$. На этих операциях сформировались все четыре допуска взаимного расположения поверхностей. В дальнейшем ход рассуждений остается таким же – от обработанной поверхности к базирующей и т.д.

Определена связь между поверхностями $\varnothing 50h6$ и $\varnothing 70H9$ (по чертежу) на точных чистовых операциях. Эту связь необходимо соблюдать и на

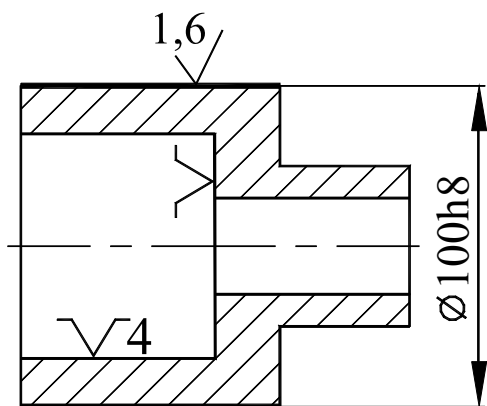


Рис. 3.40. Обработка наружной поверхности $\varnothing 100h8$

получистовых и черновых операциях. Поверхность $\varnothing 100h8$ стоит в стороне от вышеперечисленных поверхностей, но она является довольно точной, поэтому ее можно получить на $n-3$ операции. Базой может являться поверхность как $\varnothing 50,4h8$, так и $\varnothing 70H9$. Проанализируем их. Обычно, если есть очень точная радиальная поверхность, в нашем случае это $\varnothing 50h6$, то желательно и другие поверхности выполнять соосными с ней. С этой точки зрения в качестве базовой необходимо взять поверхность $\varnothing 50,4h8$. Но эта поверхность в осевом направлении недостаточно протяженна, чтобы лишить ее 4-х степеней свободы. С этой точки зрения более предпочтительной является поверхность $\varnothing 70H9$. К тому же она является базовой для получения поверхности $\varnothing 50h6$. Поэтому, для обработки наружной поверхности $\varnothing 100h8$, в качестве базовой выбираем поверхность $\varnothing 70H9$ (рис. 3.40).

Следующей операцией является получение внутренних поверхностей, одна из которых неоднократно использовалась в качестве базы. Обработка производится на станке с ЧПУ СТП220АП. В качестве базы используется наружная поверхность $\varnothing 50,4h8$, связанная по чертежу с

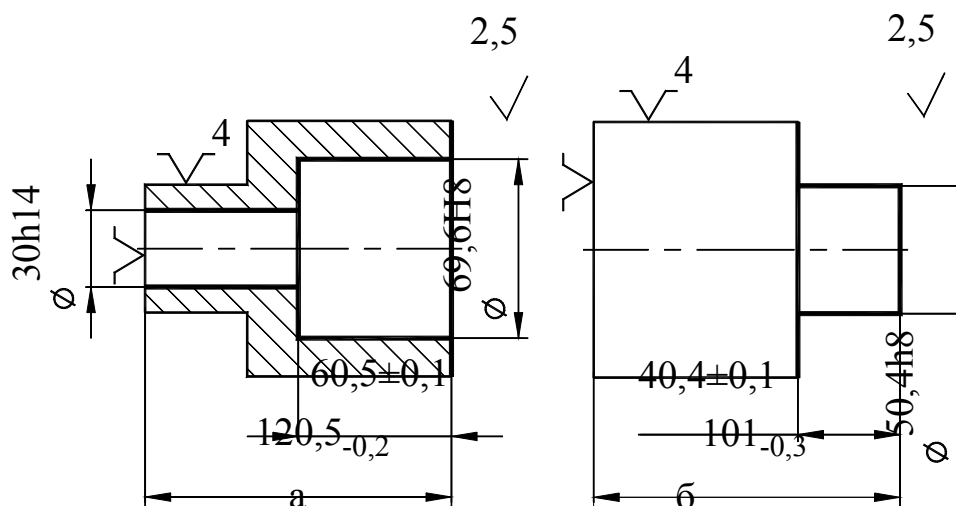


Рис. 3.41. Обработка заготовки на станке с ЧПУ:
а – внутренних поверхностей; б – наружных поверхностей

обрабатываемой поверхностью. Для облегчения режима сверления используется набор сверл: центровочное сверло, сверло $\varnothing 18$ и $\varnothing 28$. Затем отверстие растачивается (операция $n-4$) до необходимого диаметра с припуском под шлифование (рис. 3.41, а). Если бы длина детали была значительно больше ($l/d > 3$), то можно было бы сверлить деталь с двух сторон, а потом растачивать также с двух сторон. Это необходимо для уменьшения увода сверла и уменьшения длины расточного резца. Для подготовки баз на операцию $n-4$ служит операция $n-5$, которая является первой из выполняющихся на станке с ЧПУ (рис. 3.41, б).

Станки с ЧПУ предназначены для получистовой, а в некоторых случаях и для чистовой обработки. Поэтому, прежде чем деталь обрабатывать на станке с ЧПУ, необходимо подготовить базы. Обычно подготовку баз производят на станках, предназначенных для черновых операций. В нашем случае – это станок с ручным управлением типа 16К20,

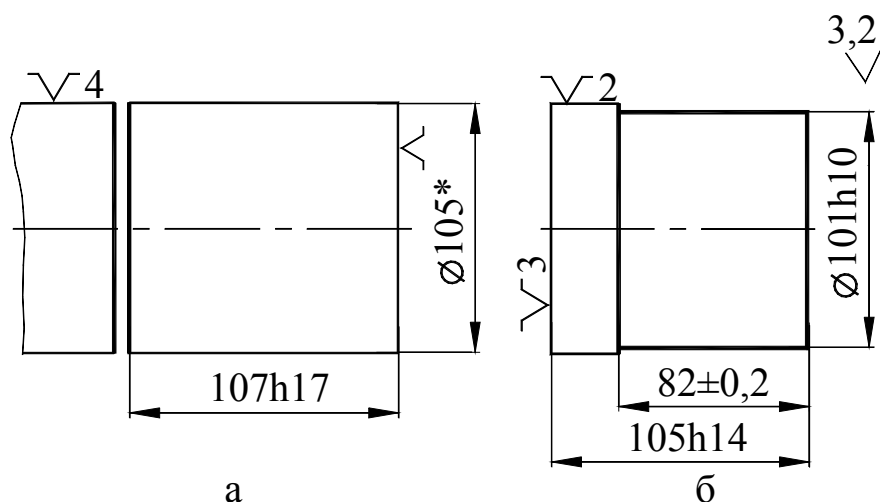


Рис. 3.42. Черновые операции технологического процесса: а – заготовительная операция; б – подготовка баз для станка с ЧПУ

а операция $n-6$ (рис. 3.42, б).

На заготовительной операции ($n-7$) из круга или прутка отрезается заготовка для одной детали (рис. 3.42, а).

Выстроив номера операций по возрастающей, получим маршрутный технологический процесс для механической обработки заданной детали. После того как в маршрут добавятся все сопутствующие операции – слесарная, контрольная, промывочная, термическая, гальваническая, консервация и другие – получим законченный технологический процесс.

3.15. Размерный анализ технологических процессов

При проектировании технологических процессов изготовления деталей машин во всем комплексе работ значительное место занимают размерные расчеты основных выходных параметров технологического процесса (операционных размеров, припусков, размеров заготовок), а также оценка точности технологического процесса в целом [46].

Под размерным анализом технологических процессов понимают совокупность работ по построению специальных размерных схем, расчетам операционных размерных цепей, определению допусков и припусков на операциях, определению размеров заготовок, оценке различных вариантов технологических процессов и т.д.

Размерный анализ применяется для вновь проектируемого или уже существующего техпроцесса. При этом решаются следующие задачи:

- установить научно обоснованные операционные размеры на всех операциях технологического процесса;
- установить научно обоснованные оптимальные размеры заготовок;
- обеспечить проектирование технологических процессов с минимальным числом операций.

Данные задачи решаются с помощью размерных цепей. Размерные цепи, звеньями которых являются операционные размеры и припуски, а также чертежные размеры обрабатываемой детали, называются технологическими.

Структура технологических размерных цепей

Составляющими звеньями в технологических размерных цепях являются технологические размеры, то есть те размеры, которые выдерживаются на конкретной операции при механической обработке.

Замыкающими размерными звеньями являются структурные размеры или припуски. Причем в отдельных случаях припуски могут совпадать с технологическими размерами, т.е. являются составными звеньями технологических размерных цепей.

Основные виды технологических цепей

1. Припуск является замыкающим звеном в технологической размерной цепи (рис. 3.43, а). A_{i-1} – размер, выдерживаемый на предше-

ствующей операции. A_i – размер, выдерживаемый на данной операции. Z_i – припуск.

2. Припуск – как технологический размер, т.е. припуск – составляющее звено (рис. 3.43, б).

3. Конструкторский размер – замыкающее звено технологической размерной цепи (рис. 3.43, в). Конструкторский размер K был задан конструктором. Технологические размеры A_1, A_2, A_3 были получены на операции механообработки.

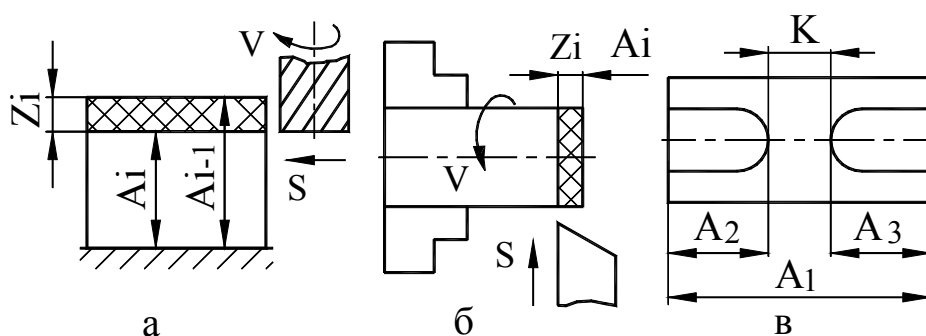


Рис. 3.43. Виды технологической размерной цепи: а – припуск – замыкающее звено; б – припуск – технологический размер; в – конструкторский размер – замыкающее звено

Методика проведения размерного анализа

Исходными данными для размерного анализа являются:

1. Чертеж детали (рис. 3.44).
2. Чертеж заготовки.
3. Техпроцесс обработки детали.

Для выполнения размерного анализа строится комплексная размерная

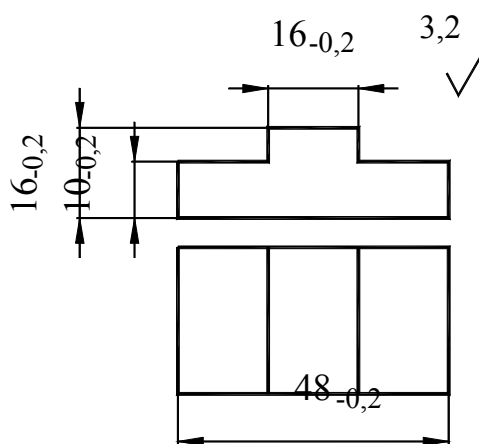


Рис. 3.44. Чертеж детали

схема. Комплексная размерная схема – это эскиз заготовки, на который нанесены все обрабатываемые поверхности. На комплексную схему обработки последовательно переносятся с операционных эскизов все выдерживаемые технологические размеры в порядке их выполнения. Эти размеры наносятся односторонними стрелками в направлении к обрабатываемой поверхности и обозначаются буквами с индексами номеров операций (и переходов). Затем на

комплексную схему наносятся конструкторские размеры (жирными линиями) согласно чертежу детали, и размеры припусков (волнистыми линиями), снимаемых в процессе обработки. Все поверхности на

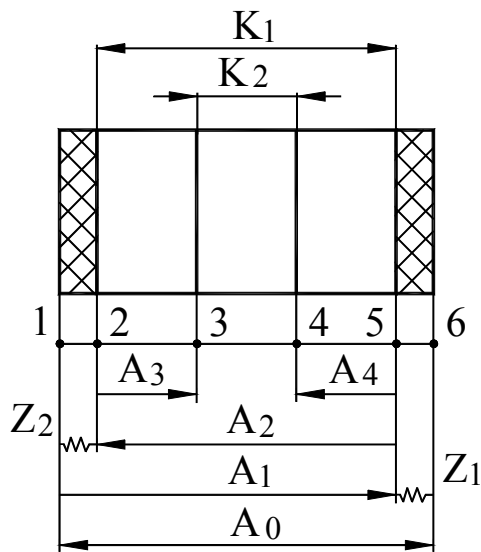


Рис. 3.45. Комплексная размерная схема

комплексной схеме нумеруются строго в порядке последовательности их расположения (рис. 3.45).

Правильность построения комплексной схемы определяется следующим образом:

- к каждой вновь обрабатываемой поверхности (кроме одной – базе на первой операции) должно подходить по одной стрелке;
- количество технологических размеров должно быть на единицу меньше числа поверхностей;
- количество конструкторских размеров и припусков должно

быть равно количеству технологических размеров.

Граф технологических размерных цепей

Выявление технологических цепей по размерной схеме является затруднительным. Это объясняется тем, что размерные цепи на схеме в явном виде не проявляются. Облегчить решение задачи выявления технологических размерных цепей позволяет применение графов.

Граф – это фигура, состоящая из точек и линий, соединяющих эти

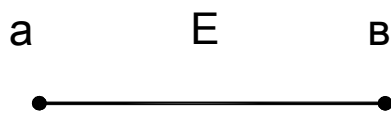


Рис. 3.46. Граф: а, в – вершины; Е – ребро

точки (рис. 3.46). Точки называются вершинами графа, линии – ребрами. Для построения графа (или граф-дерева) технологических размерных цепей (по рис. 3.44, в) сначала строим граф-дерево технологических размеров (рис. 3.47, а), для чего все поверхности на размерной цепи нумеруют

строго в порядке их расположения. Построение граф-дерева начинают с вершины, которая используется в качестве базы на первой операции.

Правильность построения граф-дерева проверяют следующим образом: на графе не должно быть разрывов и замкнутых контуров операционных размеров. Если на граф-дереве технологических размеров появился замкнутый контур, это значит, что имеется лишний тех-

нологический размер. Если появился разрыв, значит какого-то технологического размера не хватает. Если на граф-дереве нанести конструкторские размеры и припуски, то получим граф-дереву

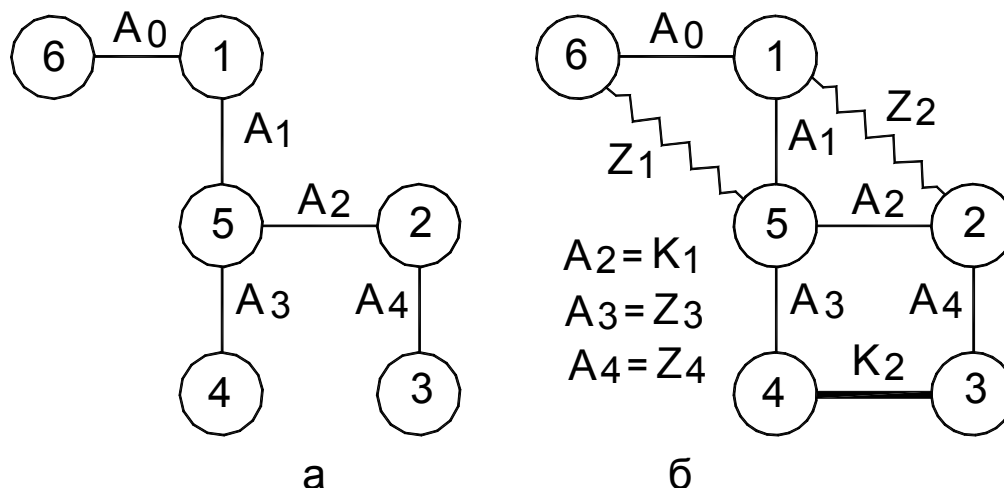


Рис. 3.47. Граф-дереву: а – технологических размеров; б – технологической размерной цепи

технологической размерной цепи (рис 3.47, б).

3.16. Применение CAD/CAM-систем для проектирования технологических процессов

Эффективность машиностроительного производства в рыночных условиях определяется степенью автоматизации подготовки производства, которая во многом определяет производительность и качество процесса изготовления изделия. В последние годы проектируются конструкции машин и узлов, содержащие детали очень высокой сложности. Такие детали обрабатываются в основном на станках с ЧПУ. Современное оборудование с ЧПУ подразумевает обязательное использование систем автоматизированного проектирования (САПР) для выполнения различного рода подготовительных работ, начиная с построения геометрии деталей и выпуска конструкторской документации и заканчивая расчетом траектории движения режущего инструмента с передачей управляющей программы на станок.

В зависимости от выполняемых задач, САПР подразделяются по степени сложности. Чем сложнее разрабатываемое изделие, тем более сложной и многофункциональной должна быть САПР. Наибольшее распространение получили системы CAD/CAM/CAE. Функции автоматизированного проектирования распределяются в них следующим обра-

зом: модули **CAD (Computer Aided Design)** – для геометрического моделирования и машинной графики, модули подсистемы **CAM (Computer Aided Manufacturing)** – для технологической подготовки производства и модули **CAE (Computer Aided Engineering)** – для инженерных расчетов и анализа с целью проверки проектных решений. Таким образом, современная система CAD/CAM/CAE способна обеспечить автоматизированную поддержку работ инженеров и специалистов на всех стадиях цикла проектирования и изготовления новой продукции. В последние годы часть разработчиков добавляет в своих системах возможности **PDM (Product data management – система управления данными об изделии)**.

В настоящее время в России получили распространение следующие CAD/CAM-системы: **КОМПАС** (разработчик «АСКОН»), **ADEM** (Omega ADEM Technologies Ltd.), **СПРУТ**, **T-FLEX** (АО «Топ Системы») – системы среднего уровня. Эти системы в России наиболее оптимальны с позиций цена/возможности. Каждая из этих систем имеет свою стратегию развития. «Аскон» развивает свои разработки по направлению CAD/CAM/PDM/ERP-систем. АО «Топ Системы» – CAD/CAM/CAE/PDM. Omega ADEM Technologies Ltd продолжает развитие интегрированной системы CAD/CAM/CAE.

В CAD/CAM-системах в качестве геометрического образа детали используется объемное моделирование. Объемное моделирование развивается в двух направлениях. Первое – поверхностное моделирование, второе – твердотельное. В поверхностном моделировании (яркий представитель – Cimatron) основными инструментами являются поверхности, а базовыми операциями моделирования на их основе – продление, обрезка и соединение. Таким образом, конструктор предлагает описать изделие семейством поверхностей.

При твердотельном способе (например, SolidWorks) основными инструментами являются тела, ограниченные поверхностями, а главными операциями – булевы объединения, дополнения, пересечения. В этом случае конструктор должен представить изделие семейством простых (шар, тор, цилиндр, пирамида и т.п.) и более сложных тел. Каждый из этих методов имеет свои достоинства и недостатки. Поверхностное моделирование популярно в первую очередь в инструментальном производстве, твердотельное – в машиностроении.

Система CAD/CAM/CAE ADEM предназначена для автоматизации проектно-конструкторских и технологических задач в области машиностроения. Система ADEM позволяет работать как с телами, так и с отдельными поверхностями, используя булевы и поверхностные процедуры.

С модели может быть получена не только информация о координатах любой точки на поверхности, но и другие локальные характеристики (нормали, кривизна и т.д.) и интегральные характеристики (объем, площадь поверхности, моменты инерции и т.д.). На ее основе всегда можно получить плоские модели: виды, сечения и разрезы.

В отличие от чертежа модель является однозначным представителем геометрии и количественного состава объекта [7].

Результат черчения ассоциативен с моделью. При изменении модели все виды, разрезы, сечения со штриховками и обозначения перестраиваются автоматически по команде пользователя.

Получение чертежей не зависит от того, была ли создана модель непосредственно в ADEM или импортирована из других систем: AMD, CadKey, CimatronE, IronCAD, ProE, SolidEdge, SolidWorks.

Это означает, что моделировщик системы ADEM является гибридным.

По своей основной специализации ADEM предназначена для автоматизации проектно-конструкторских и технологических задач в области машиностроения. ADEM – система сквозного проектирования, решающая полный спектр задач от формирования облика изделия до подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ, включая полный комплект конструкторской и технологической документации.

Главными функциями системы ADEM являются:

- плоское конструирование, выпуск чертежной конструкторской документации;
- выпуск технологической документации;
- объемное моделирование;
- плоская и зонная механообработка;
- объемная механообработка;
- хранение и управление конструкторско-технологическими документами и данными.

На предприятиях с помощью системы ADEM решаются следующие задачи: проектирование новых узлов и изделий с необходимыми расчетами, проектирование технологической оснастки, штампов и прессформ; проверка сборочных узлов на собираемость с учетом допусков и смещений; разработка технологических процессов; проектирование карт технологических процессов на базе конструкторских чертежей; проверка технологических процессов на правильность определения припусков по операциям при механической обработке или их графический расчет; проектирование и расчет поверхностей механической обработки и их последующая обработка; проектирование и расчеты режущего, вспомогательного и измерительного инструмента; определение

центра тяжести узлов и деталей для статической балансировки или расчетов; расчеты площадей проходных сечений, площадей деталей сложной конфигурации в сечениях; проектирование информационных каталогов режущего, вспомогательного и измерительного инструмента; автоматизация прикладных расчетов для конструкторов и технологов (за счет подключения расширенного расчетного модуля и др.); построение и расчет эквидистантных контуров (для сложной формообразующей оснастки) с выдачей твердой копии, таблично заданных, новых координат точек; разработка постпроцессоров для любых станков с ЧПУ.

Система ADEM представлена тремя основными модулями (рис. 3.48): ADEM CAD, ADEM CAM, ADEM TDM.

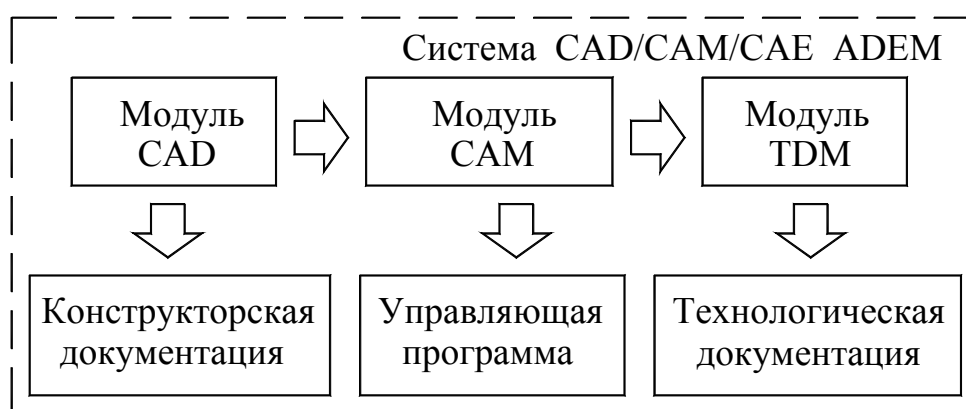


Рис 3.48. Блок-схема системы CAD/CAM/CAE ADEM

Данные модули объединяют в едином конструкторском и технологическом пространстве все известные методы проектирования и моделирования, подготовку управляющих программ для всех типов стоек станков с ЧПУ. Они обеспечивают целостность графической, технологической и расчетной информации, управление базами данных предприятия, генерацию любых отчетных документов.

Проектирование технологического процесса в системе ADEM начинают с создания модели в модуле CAD. Чаще удобнее строить твердотельную модель, но возможно построение 2D-модели или использование отредактированных сканированных чертежей (рис. 3.49). Структура ADEM позволяет из 3-мерной модели получить 2-мерный чертеж (рис. 3.50).

Переход из модуля CAD в модуль CAM производится обычным переключением. Модель при этом сохраняется.

С помощью модуля CAM производится технологическая подготовка производства детали: выбор оборудования, оснастки, режимов резания; генерируется траектория движения инструмента, как при 2.5-координатной обработке (рис. 3.51), так и при 3-...5-координатной

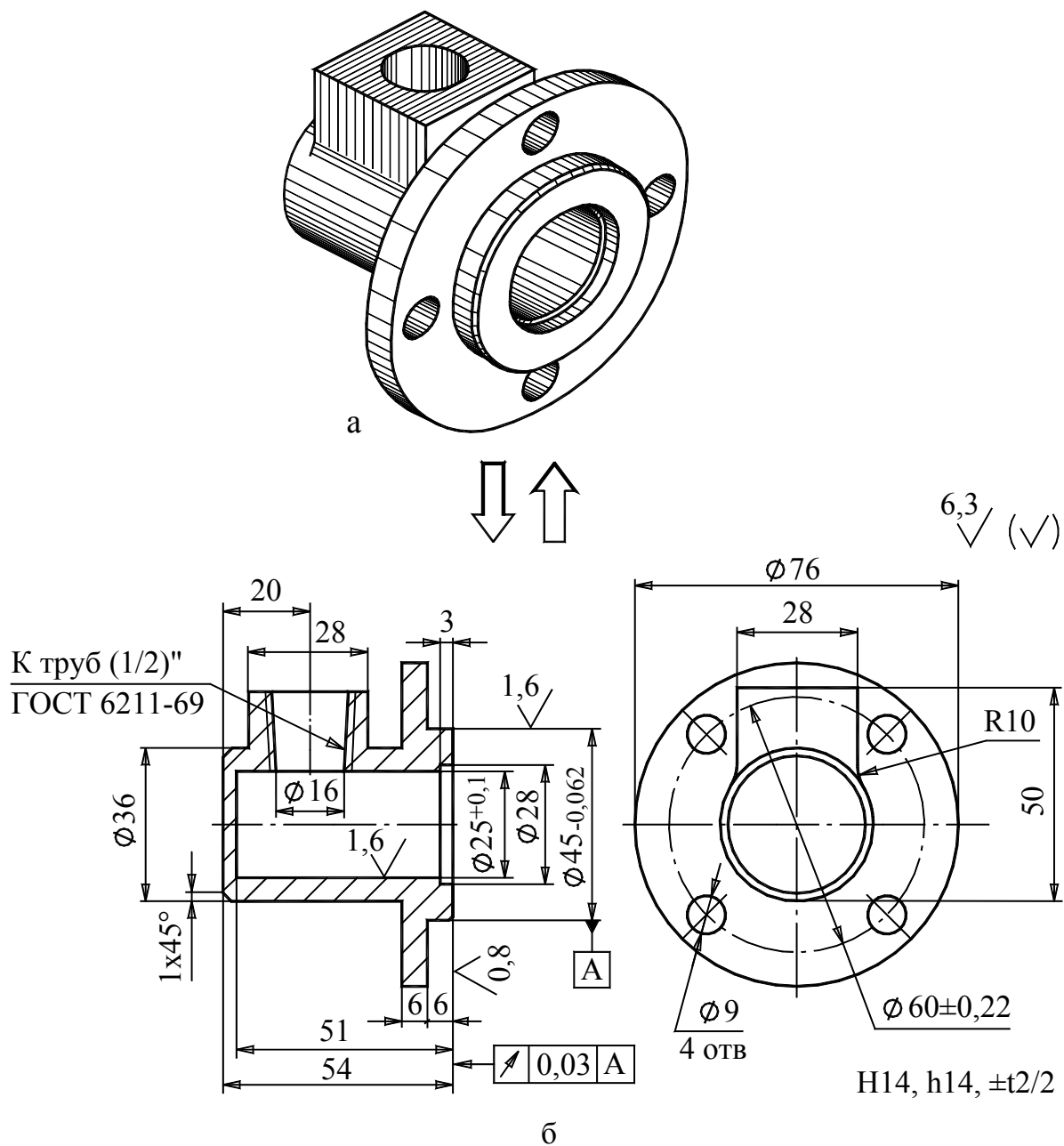


Рис. 3.49. Модели в CAD/CAM-системах: а – твердотельная 3D-модель (отредактирована для увеличения контрастности); б – 2D-модель (чертеж) детали "Крышка"

(рис. 3.52); выполняется подготовка управляющих программ для различных станков с ЧПУ, с использованием модуля генератора постпроцессоров (GPP). В модуле САМ реализованы следующие виды обработки: точение, фрезерование (2-, 2.5-, 3-, 5-координатная обработка, при этом доступны все схемы обработки: эквидистантная, зигзаг/петля, спираль, контурный зигзаг и др.), сверление, резка, гравировка, электроэрозионная (4,5-координатная обработка), листопробивка и др.

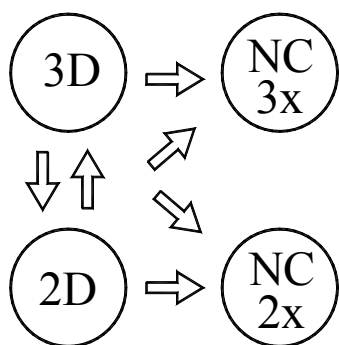


Рис. 3.50. Структура ADEM с распределенными функциями

Модуль **TDM** также является частью интегрированной системы ADEM и предназначен для автоматизации выпуска технологической документации – технологических процессов, карт наладок, ведомостей материалов, ведомостей оснастки и т.д. Модуль TDM в своем составе содержит библиотеку техпроцессов, разработанных различными пользователями. Эти техпроцессы можно использовать как заготовки для формирования новых техпроцессов, что значительно сокращает сроки внедрения.

Наличие твердотельной модели позволяет упростить многие инженерные расчеты (модуль **CAE**) и с наличием их ассоциативности обеспечить цепочку цикла проектирования: 2D-чертеж

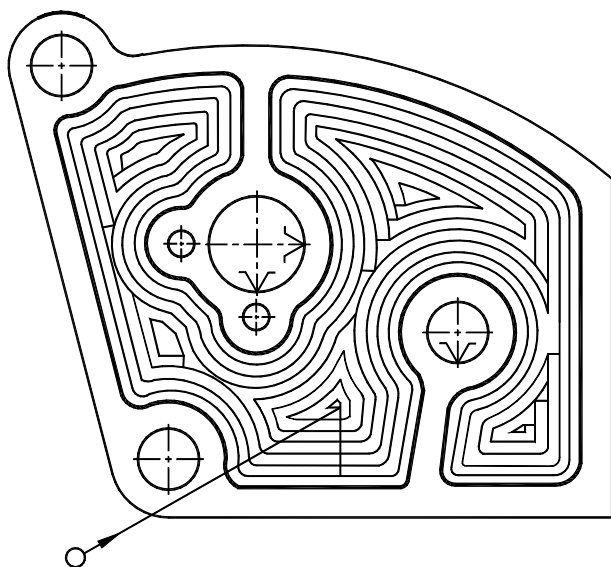


Рис. 3.51. Траектория движения фрезы при 2,5-координатной обработке

– твердотельная модель – траектория резания – технологическая оснастка. Это позволяет автоматически модифицировать все части проекта при внесении изменения в создаваемое изделие.

Одним из важных элементов системы CAD/CAM является ее открытость. Это позволяет наращивать систему дополнительными подсистемами, улучшающими характеристики основной системы.

Развитие CAD/CAM систем происходит в следующие направления:

щих направлениях:

- единая структура базы данных, сквозная параметризация и модульная структура построения системы, позволяющие сделать систему полностью ассоциативной и осуществить возможность параллельной работы коллектива разработчиков над одним проектом;
- проектирование с использованием фичерсов (объектно-ориентированных конструкторских операций) резко повышает производительность проектных работ и позволяет ориентировать

систему на конструкторов, инженеров и технологов, а не на специалистов в области математики или вычислительной техники;

- независимость от программно-аппаратной платформы позволяет предприятиям самостоятельно закупать оборудование по оптимальному цене/производительность.

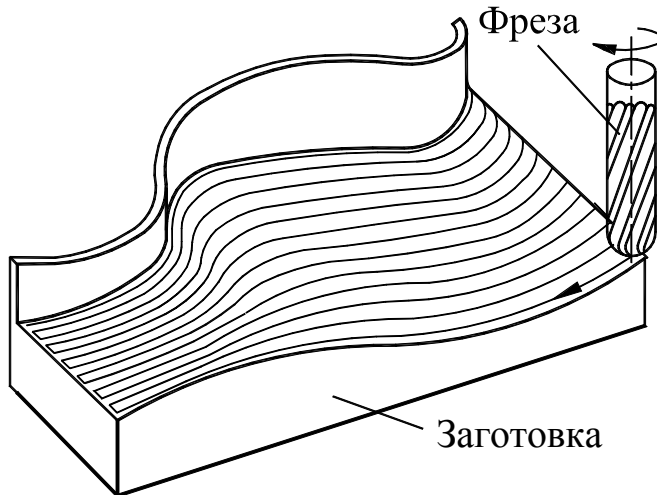


Рис. 3. 52. Траектория движения фрезы при 3-х координатной обработке, спроектированная в CAD/CAM системе ADEM

В последние годы получают развитие САЕ-системы как отдельные системы для автоматизированного расчета, моделирования и проектирования механических конструкций и оборудования в машиностроении. Отечественный представитель таких систем APM WinMachine компании НТЦ АПМ. Система позволяет производить расчет напряженно-деформированного состояния изделий методом конечных элементов, анализ динамического состояния механических конструкций и их устойчивость и т.д., –

выполнять весь комплекс инженерных расчетов.

3.17. CALS-технологии в механообработке

В промышленно развитых странах активно реализуется широко-масштабная программа создания принципиально новых компьютерных технологий информационной поддержки и автоматизации процессов разработки, производства, сбыта и эксплуатации наукоемкой продукции, в том числе конкурентоспособного оборудования для машиностроительного производства [28]. Такие технологии, основанные на системном подходе к описанию жизненного цикла изделий, получили название CALS-технологий (Continuous Acquisition Life-cycle Support).

CALS-технологии вначале возникли на американских предприятиях с целью отработки прозрачности изготовления продукции или комплектующих оборонного назначения для заказчика и смежников путем создания единого информационного пространства. В пределах своих заранее оговоренных возможностей заказчик мог в любой момент

времени определить состояние заказа и продвижение его по технологическому потоку.

В настоящее время, в связи с усложнением конструкций изделий и использованием для их создания современных компьютерных систем, увеличивается объем данных об изделии, и старые методы работы с ними уже не в состоянии обеспечить их точность, целостность и актуальность. При большом числе участников проекта возникают серьезные проблемы, связанные с обменом данными между участниками, выражающиеся в наличии коммуникационных барьеров.

Пути решения перечисленных проблем предлагает концепция CALS. Согласно этой концепции промышленным предприятиям необходимо повысить эффективность управления информацией, описывающей изделие на протяжении всего жизненного цикла (ЖЦ), а также направить свои усилия на преодоление коммуникационных барьеров между участниками ЖЦ изделия. Это позволит повысить эффективность процессов ЖЦ и эффективность взаимодействия между участниками ЖЦ, что приведет к снижению временных и материальных издержек в течение ЖЦ изделия и к улучшению качества продукции. Это, в свою очередь, неизбежно увеличит конкурентоспособность промышленного изделия.

В настоящее время CALS (Continuous Acquisition and Life cycle Support) переводится как «непрерывное развитие и поддержка ЖЦ» [48]. Первая часть термина «CALS» (Continuous Acquisition) означает постоянное развитие, которое претерпевает как само изделие в течение своего ЖЦ, так и процесс взаимодействия между потребителем и поставщиком. Вторая часть термина «CALS» (Life cycle Support) означает оптимизацию затрат на создание и эксплуатацию изделия на протяжении всего ЖЦ. Это выливается в увеличение затрат на этапах разработки (и пропорциональное увеличение цены изделия) в целях лучшего учета требований этапов эксплуатации, ремонта и обслуживания изделия, что приводит к снижению стоимости использования изделия для потребителя.

Способ достижения желаемых целей (повышения конкурентоспособности промышленного изделия) заложен в стратегии CALS, предполагающей создание единого информационного пространства (ЕИП) для всех участников ЖЦ изделия. ЕИП предполагает представление всей информации об изделии в электронном виде и организацию совместного использования для всех участников ЖЦ изделия (в соответствии с правами доступа).

Основные свойства ЕИП:

- информация представляется в электронном виде;

- ЕИП охватывает всю информацию, созданную об изделии всеми исполнителями на любом этапе ЖЦ;
- ЕИП выступает основным источником данных для исполнителей, предоставляя (в соответствии с правами доступа) нужную информацию в нужное время и в нужном виде;
- для интеграции информации в ЕИП используются международные и отраслевые стандарты, поддерживаемые подавляющим большинством производителей прикладных систем;
- для создания ЕИП используются существующие на предприятиях программно-аппаратные средства; необходима адаптация этих систем к работе в рамках ЕИП.

Стратегия CALS предусматривает два этапа при переходе к ЕИП:

- автоматизация отдельных процессов (или этапов) ЖЦ изделия и представление данных на них в электронном виде;
- интеграция автоматизированных процессов и относящихся к ним данных, уже представленных в электронном виде, в рамках ЕИП.

CALS-технологии представляют набор методов реализации стратегии CALS:

- технологии реинжиниринга бизнес-процессов в целях повышения их эффективности;
- технологии представления данных об изделии в электронном виде – набор методов для представления в электронном виде данных об изделии, относящихся к отдельным процессам ЖЦ изделия. Эти данные являются информационными моделями, обеспечивающие автоматизацию отдельных процессов ЖЦ изделия. Технологии представления данных включают также технологии перевода данных из бумажного в электронный вид. Рассматриваемая группа CALS-технологий состоит из известных методов, реализованных в соответствующих автоматизированных системах;
- технологии интеграции данных об изделии в рамках ЕИП – набор методов для интеграции автоматизированных процессов в ЖЦ и относящихся к ним данных, представленных в электронном виде, в рамках ЕИП; эти технологии реализуются с помощью класса автоматизированных систем, называемых системами управления данными об изделии (Product data management – PDM).

Технология интеграции данных об изделии (PDM-технология) представляет собой технологию управления всеми данными об изделии и процессами, создающими и использующими эти данные в течение

всего ЖЦ изделия. Управляемые данные включают как идентификационные данные (например, данные о конфигурации изделия), так и данные или документы, которые используются для описания изделия или того, как оно производится. Возможности управления процессами необходимы для поддержки различных процедур, используемых в течение ЖЦ изделия (например, процедуры изменения изделия).

Для реализации технологии PDM существуют специализированные программные средства, называемые PDM-системами (т.е. системами управления данными об изделии).

Задачи, решаемые PDM-системой:

- интегрирование в единую систему прикладных программных систем для проектирования конструкции и технологии изготовления изделий и управления производством;
- контролирование и управление в автоматизированном режиме конфигурацией изделий;
- обеспечение сбора данных для системы управления качеством в соответствии со стандартами серии ISO 9000;
- организация электронного архива технической документации.

PDM-система должна интегрировать всю связанную с изделием информацию, включая состав и структуру изделия, геометрические данные, чертежи, планы проектирования и производства, нормативные документы, программы для станков с ЧПУ, результаты анализа, корреспонденцию, данные о партиях изделия и отдельных экземплярах изделия и многое другое. Выступая в качестве средства интеграции, соединяющего множество различных компьютерных систем (путем интеграции поступающих от него данных), PDM-система управляет данными в рамках ЖЦ изделия, обеспечивая доступность для соответствующего сотрудника нужной ему информации в нужное время в нужной форме.

Пользователями PDM-систем являются конструкторы, технологи, работники технического архива, а также сотрудники, работающие в других предметных областях – продажи, маркетинга, снабжения, финансов, сервиса, эксплуатации и т.п.

По мнению экспертов, основная выгода от использования PDM-системы – сокращение времени выхода изделия на рынок. Этот эффект достигается в первую очередь за счет повышения эффективности проектирования и освоения производства изделия.

Повышение эффективности, вызванное применением PDM-системы, имеет три аспекта. Во-первых, PDM-система избавляет конструктора от непроизводительных затрат времени, связанных с поиском, копированием и архивированием данных, что при работе с бумажными данными составляет 25 – 30% его времени. Во-вторых, PDM-система

позволяет улучшить коммуникации между конструкторами, технологами и другими участниками ЖЦ изделия за счет применения технологий параллельного проектирования. В третьих, PDM-система делает реально возможным заимствование ранее спроектированных деталей (до 80%).

В России появился целый ряд предприятий, которые активно занимаются изучением и применением CALS-технологий для решения конкретных производственных задач повышения качества и конкурентоспособности выпускаемой продукции.

3.18. Высокоскоростная механообработка

В современных машинах увеличивается процент деталей с пространственно-сложными поверхностями. Это связано с развитием сложной формообразующей оснастки, с оптимизацией массогабаритных показателей в авиационной и космической технике, в гоночных автомобилях. Обработка таких элементов оснастки и сложных деталей с обычными режимами резания длится несколько десяткой часов. Значительно сократить время обработки позволяет метод высокоскоростной обработки (ВСО).

Развитию этого метода послужили высокие достижения информационных технологий, и в частности создание высокотехнологичных наукоемких CAD/CAM-систем. Внедрению метода ВСО способствовали теоретические предпосылки теории резания:

1. При повышении скорости резания происходит перераспределение тепла, образующегося при резании, в сторону тепла, уносимого стружкой (рис. 3.53). Доля тепла, передаваемого заготовке, понижается так, что заготовка практически не нагревается.

Именно это позволяет производить обработку даже **закаленных** сталей, не опасаясь отпуска поверхностного слоя.

2. При анализе зависимости силы резания от скорости резания (рис. 3.54) было отмечено, что в определенном интервале скоростей ре-

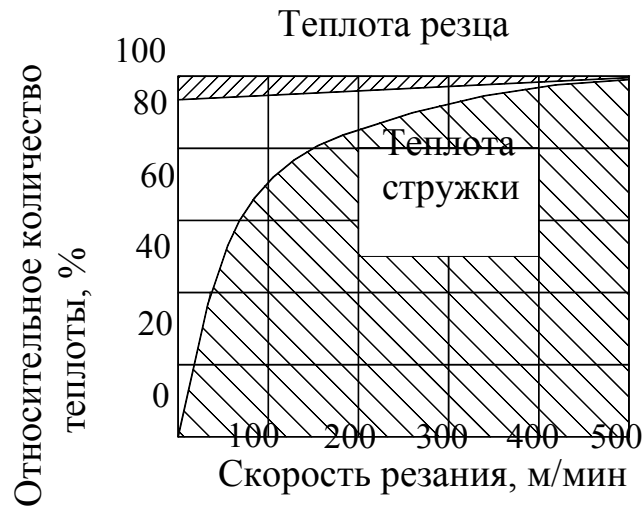


Рис. 3.53. Диаграмма относительного распределения тепла [42]

зания наблюдается значительный спад сил резания (такие зависимости за рубежом называют кривыми Соломона).

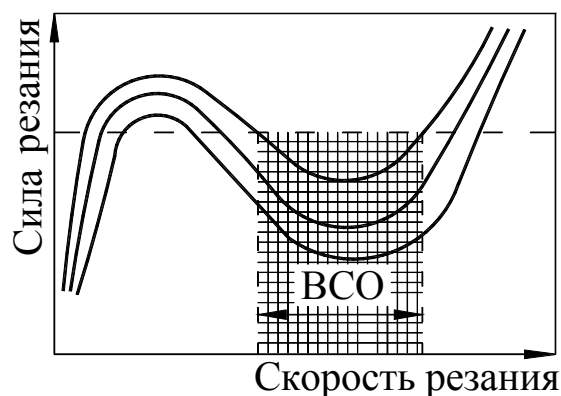


Рис. 3.54. Кривые Соломона. Зависимость сил резания от скорости резания [10]

Проведенные исследования показали, что высокоскоростная обработка возможна на станках с ЧПУ при определенных условиях:

- небольшие сечения среза;
- малые динамические нагрузки при изменении направления движения инструмента;
- равномерная нагрузка на инструмент во время

всего цикла обработки заготовки.

Из всех методов механообработки наибольший эффект дает высокоскоростное фрезерование. Для проведения высокоскоростной обработки разработаны специальные фрезерные станки с ЧПУ с частотой вращения шпинделя 60...80 тыс. оборотов в минуту. К имеющемуся оборудованию разрабатываются специальные приспособления, реализующие новые кинематические схемы высокоскоростной обработки.

Изменился и режущий инструмент, работающий в новых условиях. Разработаны новые типы твердосплавного инструмента с многослойными покрытиями.

Применение высокоскоростного фрезерования позволяет упростить управление процессом достижения размера и качества поверхности, обеспечить обработку тонкостенных деталей. Так, при высокоскоростном фрезеровании высота микронеровностей обрабатываемой поверхности уменьшается с 2 мкм при 700 м/мин до 0,5 мкм при 1750 м/мин.

При обработке нетрадиционных материалов также эффективно применение скоростного фрезерования (скорость резания до 10 000 м/мин и подача до 30 м/мин). Имея возможность вести лезвийную обработку закаленных сталей, можно обеспечить качество поверхности, сопоставимое с электроэрозионной обработкой. Это позволяет пересмотреть структуру производственного процесса изготовления формообразующих элементов пресс-форм и штампов (рис. 3.55). Режимы резания для обработки штампа без дальнейшей полировки твердостью 51 HRC и размерами 300x145 мм составляли: подача 5 м/мин, обороты шпинделя

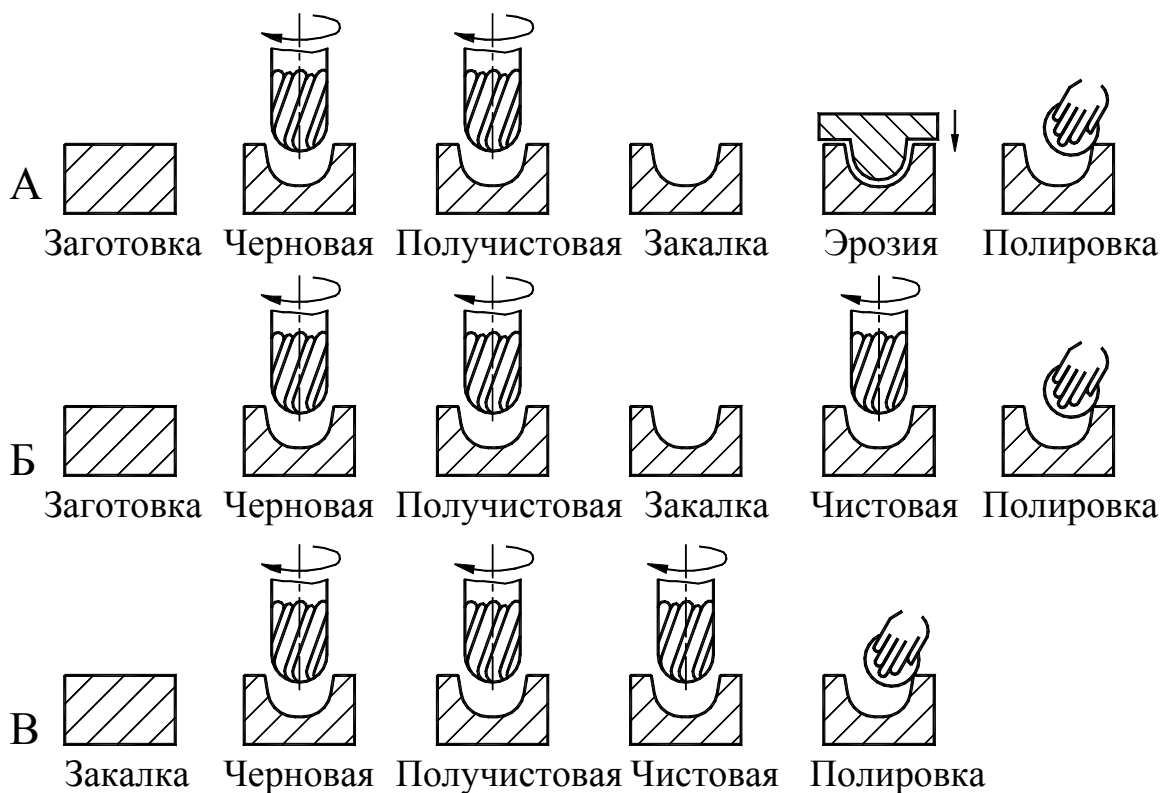


Рис. 3.55. Упрощение производственного процесса изготовления формообразующих элементов оснастки (пресс-формы, штампы) при использовании высокоскоростной обработки [10]: А – обычный техпроцесс; Б – ВСО с закалкой внутри техпроцесса; В – ВСО с закалкой заготовки

35 тыс. об/мин, время обработки 95 мин, минимальный диаметр фрезы 2 мм.

У истоков высокоскоростной обработки стояла фирма Delcam plc, которая одной из первых использовала эту технологию при изготовлении пресс-форм и штампов.

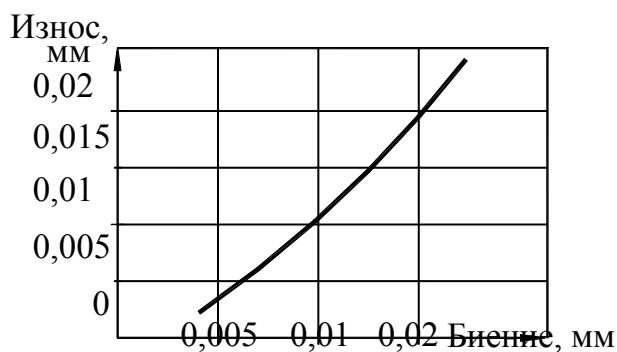


Рис. 3.56. Влияние биения инструмента на его износ [10]

Высокоскоростное резание производят с малой подачей в зоне небольших сил резания, поэтому основополагающими факторами, влияющими на процесс резания, является биение инструмента и возникающие при этом вибрации. С увеличением биения инструмента резко возрастает износ инструмента (рис. 3.56). Таким образом, ВСО

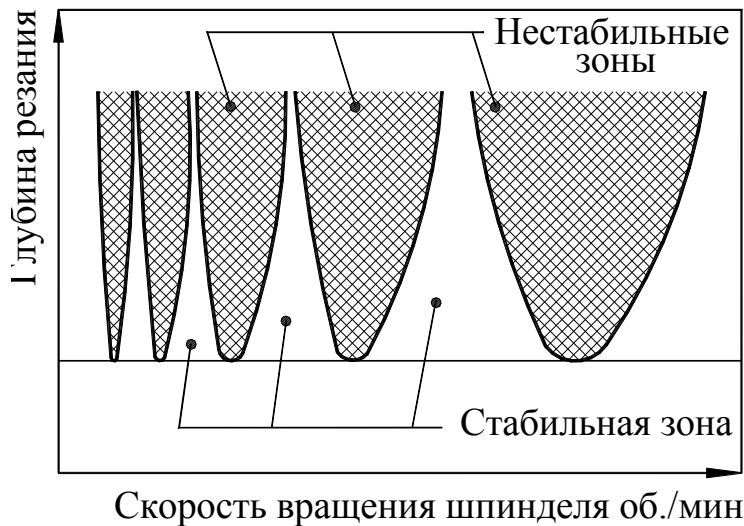


Рис. 3.57. Зоны вибрации при фрезеровании в зависимости от глубины резания и скорости резания [10]

Для каждой комбинации системы СПИД существует своя зона стабильной (безвибрационной) работы инструмента (рис. 3.57). В связи с отсутствием отработанных рекомендаций стабильные зоны работы инструмента определяются

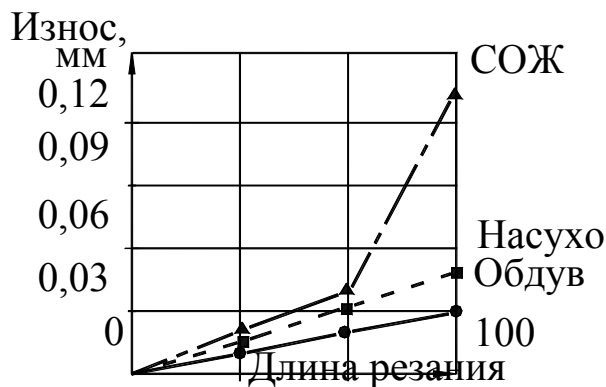


Рис. 3.58. Влияние методов охлаждения на износ инструмента [10]

экспериментальным путем. Для уменьшения вибраций следует выбирать фрезы с закругленной режущей кромкой.

При сравнении способов охлаждения в процессе резания экспериментально отмечено, что наилучший эффект достигается при обдуве зоны резания (рис 3.58). Низкая стойкость инструмента при охлаждении СОЖ объясняется главным образом выкрашиванием режущих кромок, что обусловлено циклическими термическими нагрузками на режущую кромку инструмента.

Внедрение высокоскоростной обработки потребовало пересмотра многих позиций подготовки процесса резания с целью гарантированного обеспечения минимальных динамических нагрузок на инструмент в течение всего процесса резания. В первую очередь необходимо построить траекторию движения инструмента таким образом, чтобы всегда был равномерный сьем металла (постоянная толщина резания). Вручную это можно сделать для деталей простой конфигурации. Для деталей

требует особого внимания к балансировке инструмента. Для этого могут использоваться специальные патроны с возможностью балансировки или балансированные оправки для термозажима.

Высокоскоростная обработка позволяет получить поверхности с малой шероховатостью. Но практически для каждой комбинации

для каждой комбинации системы СПИД существует своя зона стабильной (безвибрационной) работы инструмента (рис. 3.57). В связи с отсутствием отработанных рекомендаций стабильные зоны работы инструмента определяются

экспериментальным путем. Для уменьшения вибраций следует выбирать фрезы с закругленной режущей кромкой. При сравнении способов охлаждения в процессе резания экспериментально отмечено, что наилучший эффект достигается при обдуве зоны резания (рис 3.58). Низкая стойкость инструмента при охлаждении СОЖ объясняется главным образом выкрашиванием режущих кромок, что обусловлено циклическими термическими нагрузками на режущую кромку инструмента.

сложной формы, штампов, пресс-форм применяют CAD/CAM-системы со специальными модулями, реализующими особенности построения траектории движения инструмента для высокоскоростной обработки. В том числе: небольшая толщина съема металла (рис.3.59, а), движение по

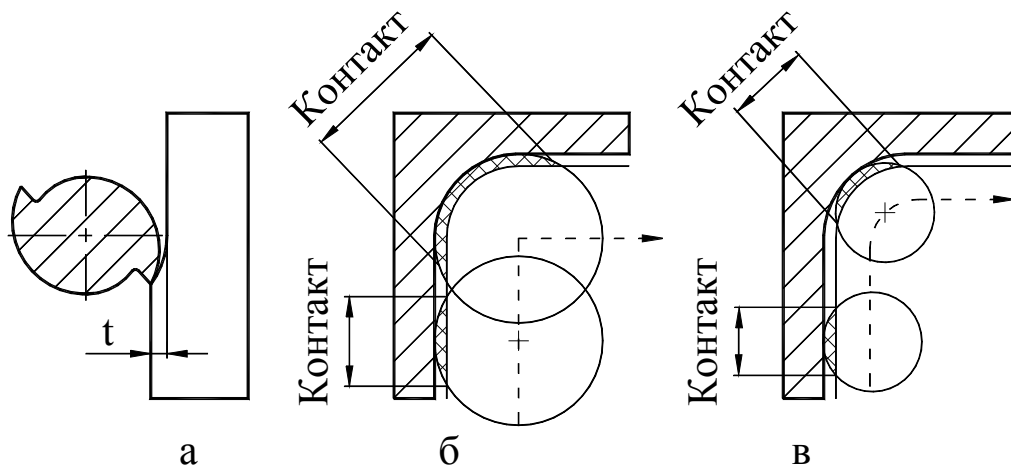


Рис. 3.59. Особенности контакта инструмента с заготовкой при ВСО

дуге окружности в углах (рис. 3.59, в) вместо резкого поворота (рис. 3.59, б). Данные условия проще реализовать на станках с ЧПУ с подготовкой производства в CAD/CAM-системах. Во всех случаях должно быть исключено лобовое фрезерование с шириной резания рав-

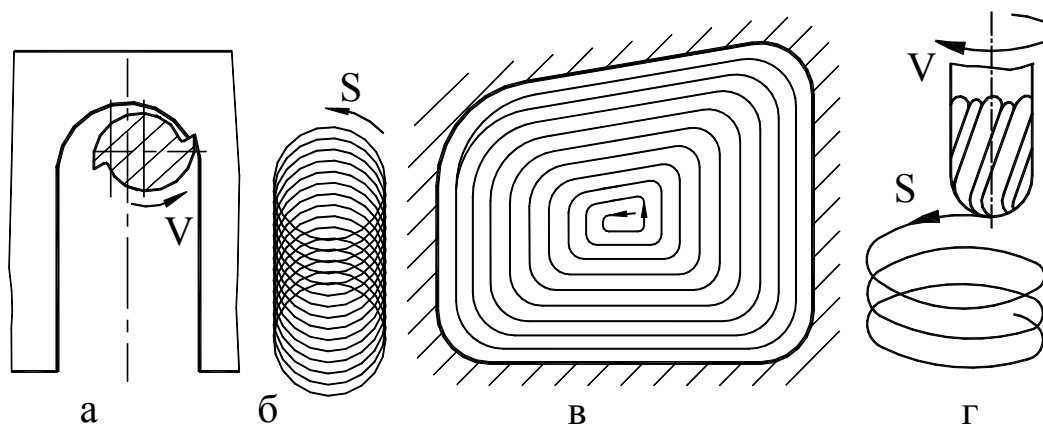


Рис. 3.60. Траектория движения фрезы при ВСО: а – обработка паза; б – траектория движения фрезы при обработке паза; в – траектория движения фрезы при обработке колодца; г – расфрезеровывание отверстий

ной диаметру фрезы. Даже при фрезеровании шпоночных пазов или аналогичных им узких пазов (рис. 3.60, а) вместо одного прохода, с помощью САМ-систем, строят траекторию сложного трохоидального движения (рис. 3.60, б). Такой режим обработки возможен только на станках с ЧПУ. Обработка колодцев или понижений со сложным конту-

ром также строится с учетом равномерности снимаемого припуска (рис. 3.60, в). Часто применяющаяся строчная обработка при обычном фрезеровании неприменима при высокоскоростной обработке. При высокоскоростной обработке предпочтение отдается спиральным стратегиям, когда инструмент, однажды врезавшись, сохраняет непрерывный и равномерный контакт инструмента с заготовкой, с одним заходом и выходом (рис. 3.60, в).

Высокоскоростная обработка трехмерных поверхностей с резкими переходами связана с определенными трудностями. В таких случаях заготовка разбивается на определенные зоны, в которых применяется наиболее оптимальный способ движения инструмента.

Оптимизация траектории движения инструмента при ВСО по минимуму действующих сил реализуется в модуле САМ или в специальном модуле при расчете траектории. Кроме того, САД/САМ-система должна иметь специальные функции [10]:

- широкий набор вариантов гладкого подвода-отвода и связей между проходами;
- набор стратегий спиральной и эквидистантной обработки зон как на чистовой, так и на черновой обработке, и поиск оптимальной стратегии в различных зонах обработки;
- автоматическое сглаживание траекторий в углах;
- использование в УП специальных технологических приемов (врезание сверху, трохоидальная обработка, специальные виды интерполяции);
- исключение проходов полной шириной фрезы и автоматическое применение трохоидального врезания в этих местах;
- широкое использование петель и различных криволинейных траекторий для уменьшения инерционных сил;
- оптимизацию подач для сглаживания нагрузки на инструмент.

Более широкие возможности имеют САД/САМ-системы и станки с ЧПУ, поддерживающие 5-координатную обработку. В этом случае имеется набор возможностей по управлению вектором фрезы. Инструмент можно поставить по нормали к обрабатываемой поверхности или боком. При фрезеровании боком есть возможность управлять углом отклонения фрезы от поверхности. Часто при обработке сложных поверхностей создается набор макропрограмм, генерирующих проходы фрезы. Построив ограничивающие кривые, создают область действия оптимальной для данного участка поверхности макропрограммы. Полученная таким образом управляющая программа позволит получить эффективную обработку детали. Так при фрезеровании колеса турбины выделяют две основные задачи: выборка межлопаточного пространства и

фрезерование лопаток (рис. 3.61), каждая из которых получается по своему алгоритму.

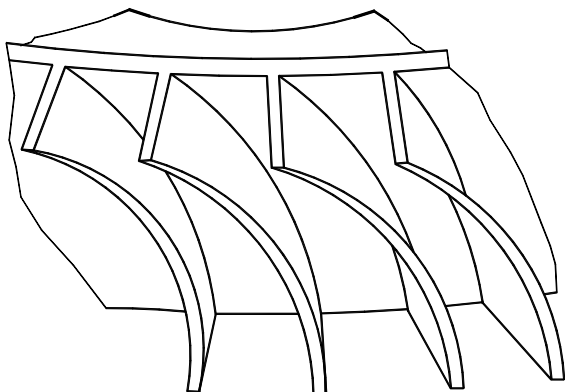


Рис. 3.61. Применение 5-координатной обработки при фрезеровании лопаток колеса турбины

Внедрение высокоскоростной обработки связано с определенными трудностями: покупка дорогостоящего инструмента и оборудования для высокоскоростной обработки с быстродействующими устройствами ЧПУ, наличие CAD/CAM-систем, позволяющих выполнять подготовку производства для высокоскоростной обработки, подготовка кадров для выполнения операций высокоскоростной меха-

нообработки, наличие достаточного портфеля заказов.

Освоение технологий высокоскоростной обработки обеспечит такое качество обработки, которое позволит исключить финишные операции ручной полировки. Внедрение в обычную обработку новых подходов и стратегий, разработанных для ВСО, благоприятно скажется на качестве обработки и снизит вероятность поломки инструмента.

3.19. Технология быстрого прототипирования

При проектировании изделий в мелкосерийном производстве часто возникает проблема быстрого изготовления его макета с целью оценки внешнего вида, габаритов, дизайна. Иногда запускается нескольких разных по конструкции макетов, из которых выбирается лучший вариант. Если изделие (деталь) имеет сложную конфигурацию, то для изготовления макета, так же как и для детали, необходима дорогостоящая оснастка.

На рынке появляются технологии быстрого прототипирования (изготовления) детали из материала-замениителя (бумага, пластик и т.д.). Существует несколько разновидностей таких технологий. Как правило, технологии прототипирования требуют и специального математического обеспечения. В отечественной системе GeMMA-3D базовый пакет операций подготовки данных по технологиям послойного синтеза может быть настроен на любую технологию быстрого прототипирования.

Общий подход для всех технологий быстрого прототипирования состоит в следующем [29]:

- CAD-модель пространственного объекта (детали) разбивается на слои малой толщины, в результате чего получается набор плоских картинок-сечений;
- каждое сечение рисуется средствами специальной установки, и все сечения последовательно складываются в стопку (блок). В итоге создается твердая копия исходной математической модели (3D-модель) с точностью до толщины слоя.

LOM-технология является одним из способов быстрого создания (прототипирования) детали. Она основана на выжигании лучом лазера излишнего материала из тонкого листа ламинированной пластиком бумаги, пластика, металлической фольги и т.д. (далее условно будем называть это бумагой).

Схема работы LOM-установки показана на рис. 3.62:

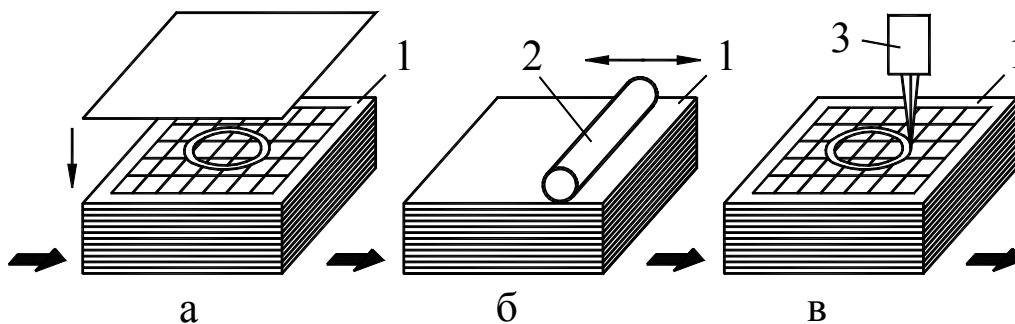


Рис. 3.62. Схема формирования блока в LOM-технологиях:

1 – блок, 2 – терморюлик, 3 – лазер; а – подача листа, б – прокатывание терморюликом, в – вырезание контура

- в рабочую зону установки подается лист бумаги (вырезается из рулона, отрывается из стопы, надвигается специальным механизмом и пр.);
- лист наклеивается на основание (первый лист) или на стопку ранее обработанных листов и приклеивается к предыдущему листу. Склейка происходит при прокатывании специального ролика (обычно это терморюлик, нагретый до нужной температуры). Под действием нагрева инициируется клеевой слой листа, и очередной слой выращиваемой детали во всех своих точках приклеивается к стопе;
- луч лазера выжигает только в верхнем наклеенном листе контуры детали и иные линии, необходимые впоследствии для разборки стопы. Программа перемещений луча лазера определяется индивидуально для каждого сечения детали;
- если это был не последний слой, вся процедура повторяется для следующего слоя.

В результате работы LOM-установки всегда получается одна и та же деталь – блок-параллелепипед, склеенный из листов толщиной 0,125 мм стандартного формата, внутри которой находится прототип детали, например, кувшин (рис. 3.63).

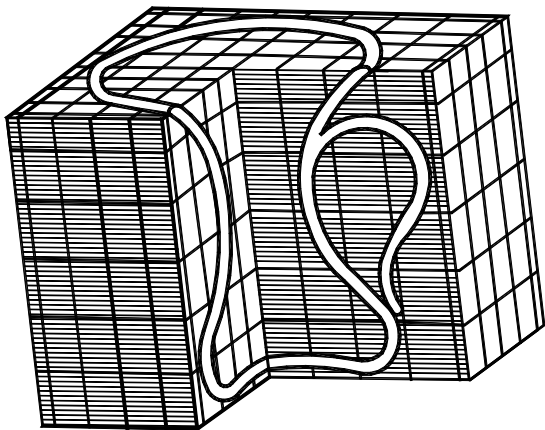


Рис. 3.63. Разрез блока детали

Для повышения жесткости конструкции внутри блока создаются поддерживающие решетки.

Разборка блока сводится к выполнению следующей последовательности операций:

- удалить «кубики» из внутренней полости изделия;
- удалить «столбики» с внешней поверхности;
- прорезать поддерживающую решетку и удалить лишний материал.

3.20. Обеспечение производства продукции заданного качества

Качество изготовленной продукции формируется поставкой качественного сырья, применением качественного оборудования и средств технологического оснащения (СТО), наличием качественной нормативной документации и качеством труда изготовителей (рис. 3.64). Каче-

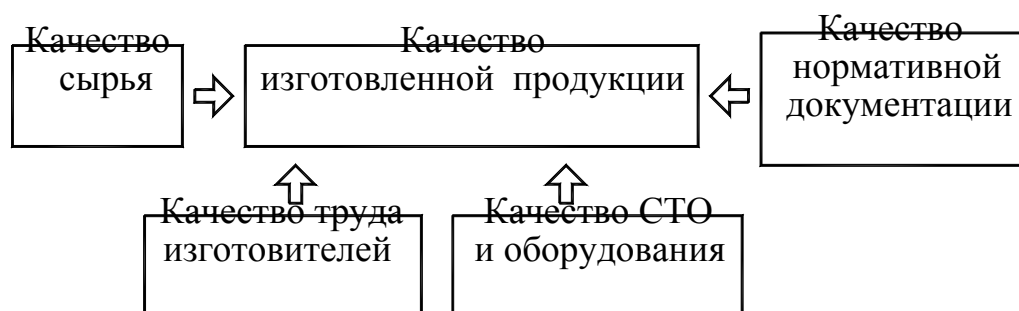


Рис. 3.64. Схема формирования качества продукции

ство изготовленной детали имеет точностные характеристики: допуски на размеры, точность расположения взаимосвязанных поверхностей и т.д.

Различают 3 этапа управления точностью:

- на этапе конструкторской подготовки производства;

- на этапе технологической подготовки производства;
- на этапе производства.

3.20.1. Этап конструкторской подготовки производства

Качество будущей продукции на этапе конструкторской подготовки производства определяется:

- коэффициентом стандартизованных и унифицированных деталей и узлов применительно к конкретному производству;
- правильным выбором и простановкой размеров, полей допусков, правильным выбором допусков взаимного расположения поверхностей;
- правильным выбором конструкторских баз и размерных цепей;
- рациональным выбором материала, требований к твердости, шероховатости, покрытию и т. д.;
- правильным выбором конструктивных форм сопряжений, галтелей, фасок, переходов и т. п.;
- правильным выбором (в пределах компетенции конструктора) заготовок и технологических методов достижения заданных параметров детали;
- обеспечение нормоконтроля по ГОСТ 2.111 – 68.

3.20.2. Этап технологической подготовки производства

На этапе технологической подготовки производства выполняются следующие работы по управлению качеством:

- применение рациональной заготовки и метода ее получения;
- правильный маршрут обработки;
- правильная последовательность переходов в операции с учетом минимуму трудозатрат и достижения максимума будущего качества детали;
- выбор рациональных технологических баз; оптимальных припусков и последовательности удаления припуска с данной поверхности;
- рациональные режимы обработки, геометрия и материал инструмента;
- рациональное оборудование и средства технологического оснащения;
- правильные вспомогательные операции и переходы: хранение, транспортирование, закрепление и т. д.;

- грамотное применение термических, гальванических, вибрационных и других операций;
- рациональный порядок проведения сборочных операций.

3.20.3. Этап производства

На этапе производства выполняются следующие работы по управлению качеством:

- точное соблюдение технологической дисциплины;
- использование заготовок в соответствии с техпроцессом;
- соблюдение температурного режима обрабатываемых заготовок, температуры помещения, оборудования (оборудование для получистовой и чистовой обработки должно быть прогрето не менее 20...30 минут);
- применение рекомендованных режимов обработки;
- использование аттестованного оборудования, СТО, режущего инструмента;
- цена деления измерительного инструмента должна соответствовать рекомендованной по техпроцессу ($C_d = \delta/4...5$, где δ – допуск на размер).

3.20.4. Сертификация качества выпускаемой продукции

Япония, осваивающая в 60-х годах западный рынок, столкнулась с огромными трудностями, связанными с плохим качеством своих товаров. Для повышения конкурентоспособности своих товаров они разработали собственную систему повышения качества продукции с помощью:

- активных действий;
- спланированной работы;
- принципа «думать совместно»;
- вовлечения сотрудников в планирование и управление процессами;
- интегрального подхода к планированию процессов конструкторской разработки, производства и сбыта вплоть до обслуживания у заказчика;
- преимущества работ в области качества в общем процессе по отношению к дополнительному контролю качества.

В каждой фирме существовала мощная система поощрения сотрудников за каждое принятое к внедрению предложение. Сотрудники,

не работающие над повышением конкурентоспособности продукции, были вынуждены уходить из фирмы из-за прессинга как руководителей фирмы, так и сослуживцев. Найти работу в других фирмах было весьма затруднительно.

В результате таких мероприятий за сравнительно короткое время Япония вошла в узкий круг экономических гигантов. Японские товары достигли и превзошли уровень качества товаров старых экономических держав. Инновационная мощь выразилась в нарастающем разнообразии японских товаров. Японские экспортные поставки приобрели неимоверный размах.

На рынке стало появляться много подделок под товары японских фирм.

Для повышения конкурентоспособности своих товаров и борьбы с подделками мировое сообщество товаропроизводителей приняло ряд мер, как юридических, так организационных и технологических. Одной из таких мер явилось письменное подтверждение (сертификат) проверяющей фирмы о высоком качестве изготовления товаров на данном предприятии.

Стоило появиться на рынке товарам, в рекламных проспектах, на которые приводятся ссылки на сертифицированную систему качества, как это стало одним из показателей конкурентоспособности товара и производящей ее фирмы.

Потребитель все чаще требует, чтобы рядом с сертификатом на продукцию, который в этой ситуации рассматривается лишь как свидетельство инженерно-технических возможностей фирмы, лежал сертификат на систему качества, который подтверждает, что на предприятии действует система, гарантирующая стабильный выпуск продукции того уровня качества, который подтвержден сертификатом на саму продукцию.

Понятие качества

С развитием рыночных отношений в промышленно развитых странах складывается своя определенная система качества. Эволюция развития системы качества среди основных товаропроизводителей представлена на рис. 3.65.

В 1986 году Международной организацией по стандартизации ИСО были сформулированы термины по качеству для всех отраслей бизнеса и промышленности. В 1994 году терминология была уточнена. Стандартизировано следующее определение качества.

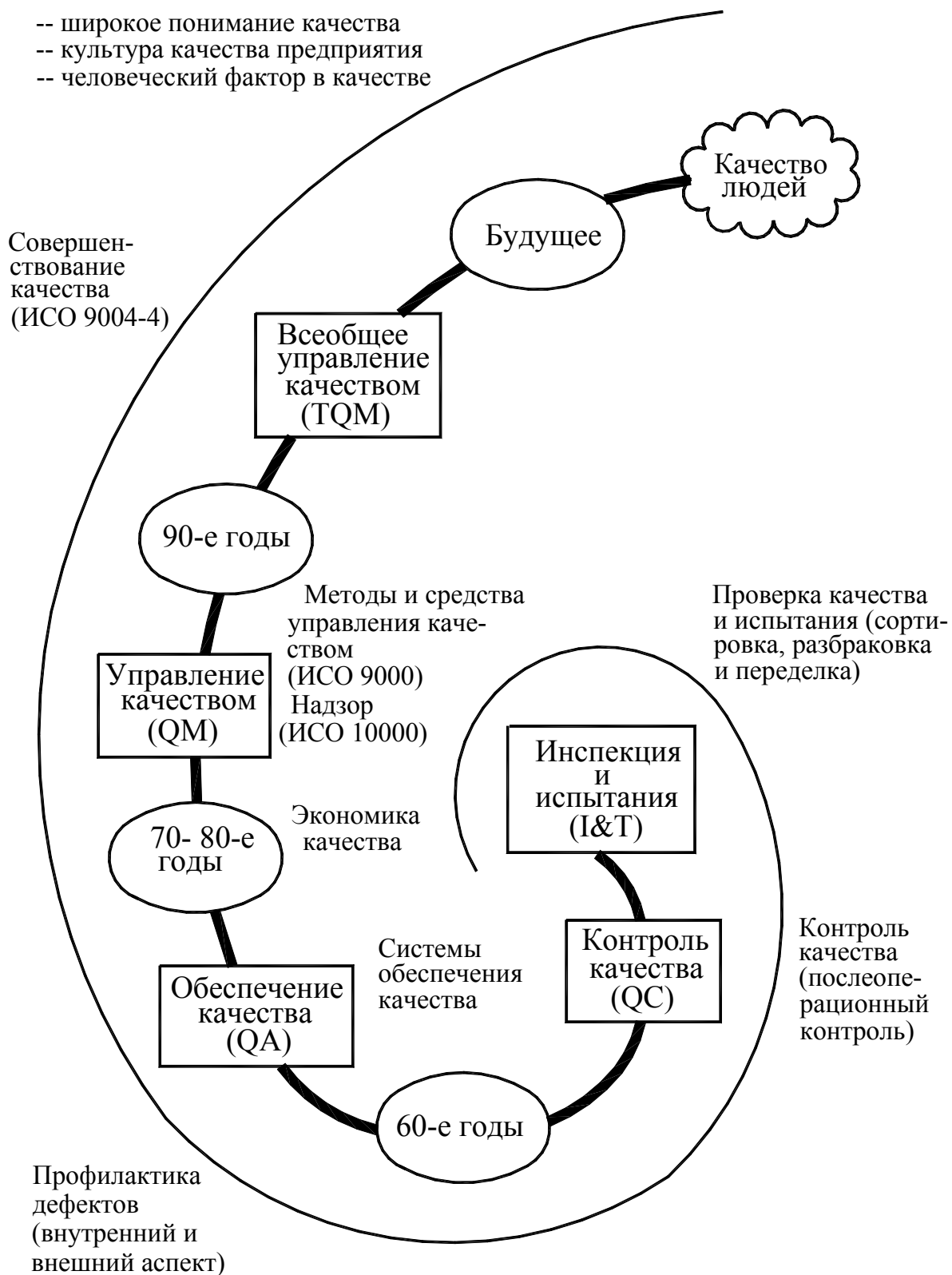


Рис. 3.65. Эволюция повышения качества [37]

Качество – это совокупность характеристик (и свойств) объекта, относящихся к его способности удовлетворять установленные и предполагаемые потребности.

Характеристика – это взаимосвязь между зависимыми и независимыми переменными, выраженными в виде текста, таблицы, математической формулы, графика.

Потребности возникают из-за неудовлетворенности требований организма (в том числе – общества), необходимых для его нормальной жизнедеятельности, и направлены на устранение этой неудовлетворенности.

Объект – то, что может быть индивидуально описано и рассмотрено. Объектом может быть, например, деятельность или процесс, продукция, организация, система или отдельное лицо, а также любая комбинация из них.

Процесс – совокупность взаимосвязанных ресурсов и деятельности, которая преобразует входящие элементы в выходящие (к ресурсам могут относиться: персонал, средства обслуживания, оборудование, технология и методология). Стандартное определение термина «**продукция**» означает, что она – результат деятельности или процессов. Продукция может включать услуги (итог непосредственного взаимодействия поставщика и потребителя и внутренней деятельности поставщика по удовлетворению потребностей потребителя), оборудование, перерабатываемые материалы, программное обеспечение или комбинации из них.

Политика в области качества – основные направления и цели организации в области качества, официально сформулированные высшим руководством.

Японская система качества развивалась опережающими темпами, ее концепция качества предусматривает четыре уровня развития (рис.3.66).

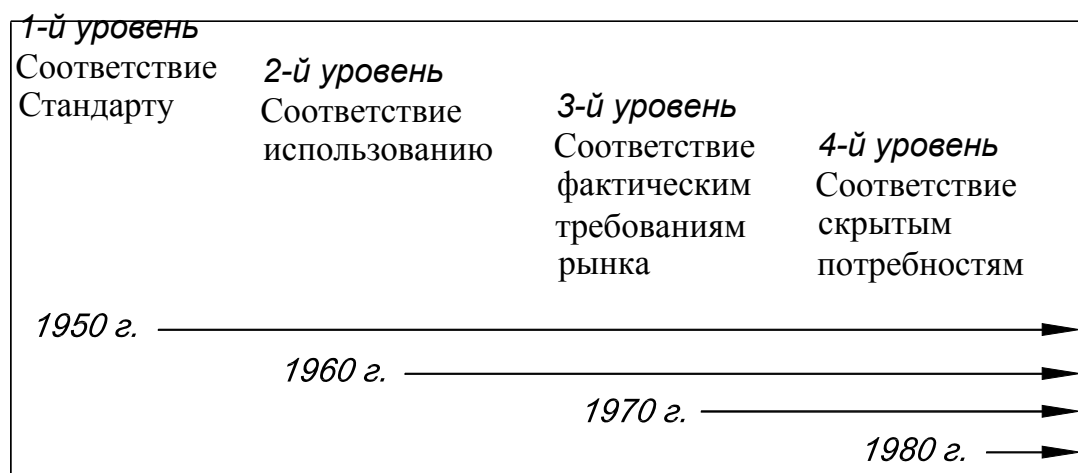


Рис. 3.66. Динамика развития уровней качества в Японии

Для реализации данной концепции развития были разработаны специальные мероприятия, направленные на работу с системой качества, процессами, персоналом, ресурсами (табл. 3.31).

Таблица 3.31

Организационно-технические мероприятия для реализации концепции качества в Японии

Качество	Процесс	Персонал	Ресурсы
Управление качеством	Управление процессами	Управление персоналом	Управление ресурсами
Определение понятия качества	Устойчивость (стабильность) процесса	Команда управляющих	Программа расходов на качество
Политика качества	Статистические методы контроля	Всеобщее обучение качеству	Показатели для контроля исполнения
Всеобщее обучение качеству	Возможность процессов	Организация рабочих групп	Стоимостные показатели
Отношение с внутренними потребителями	Решение технологических проблем	Методы и средства мотивации	Консервация ресурсов
Системы качества	Совершенствование (улучшение) процесса	Связующие звенья	Улучшение окружающей среды
Кружки качества	Анализ характера и последствий отказов на стадии проекта	Теория интенсификации	Работа по принципу «Точно в срок»
Методы Тагу-чи	То же на стадии производства	Повышение квалификации	

Система качества – совокупность организационной структуры, методик, процессов и ресурсов, необходимых для осуществления общего руководства качеством (административного управления качеством).

Стандарты ИСО серии 9000

Признано, что стандарты ИСО серии 9000 на систему качества являются хорошим инструментом для достижения главной цели фирм в рыночных условиях – удовлетворение потребителя и являются минимальным фундаментом для современной системы качества. В развитых государствах проводятся конкурсы на премию по качеству. Например, в Японии Комитет по присуждению премии Деминга оценивает состояние дел на фирме по 48 показателям, сгруппированным по 10 направлениям:

- проведение политики в области качества;
- организация и управление деятельностью предприятия;
- сбор, обработка и интерпретация информации о качестве;
- обучение и распространение знаний в области качества;
- анализ проблем качества;
- стандартизация;
- контроль качества;
- обеспечение качества;
- результаты;
- планы.

В западных странах для оценки системы качества пользуются стандартными элементами системы качества **ИСО 9000**:

Элемент QM 1: Ответственность высшего руководства;

Элемент QM 2: Система менеджмента качества;

Элемент QM 3: Анализ контрактов;

Элемент QM 4: Управление проектированием;

Элемент QM 5: Управление документацией и данными;

Элемент QM 6: Закупка;

Элемент QM 7: Управление представленной заказчиком продукцией;

Элемент QM 8: Идентификация и прослеживаемость продукции;

Элемент QM 9: Управление процессом;

Элемент QM 10: Контроль и испытания;

Элемент QM 11: Надзор за средствами контроля и испытаний;

Элемент QM 12: Статус контроля и испытаний;

Элемент QM 13: Управление несоответствующей продукцией;

Элемент QM 14: Корректирующие и предупреждающие мероприятия;

Элемент QM 15: Обращение, хранение, упаковка, консервация и отгрузка продукции;

Элемент QM 16: Управление записями по качеству;
Элемент QM 17: Внутренние аудиты качества;
Элемент QM 18: Обучение;
Элемент QM 19: Техническое обслуживание;
Элемент QM 20: Статистические методы.

Внедрение системы менеджмента качества

Внедрение системы качества на предприятии связано со значительными финансовыми затратами. Поэтому ряд предприятий вначале начинает внедрение системы качества с ИСО 9003 и ИСО 9002, дающие большие послабления при проведении сертификации. В общем, внедрение системы качества проводится в три этапа: предварительное планирование, разработка концепции и реализация.

Предварительное планирование включает:

- сбор информации;
- поиск партнера по внедрению системы;
- разработка рабочих пакетов по внедрению системы;
- предварительное планирование сроков;
- планирование на среднюю перспективу;
- информирование сотрудников.

Разработка концепции:

- дифференциация рабочих пакетов по технологическим операциям;
- согласование технических операций;
- окончательное планирование сроков.

Реализация:

- разработка справочника QM и дополнение нормативных документов по качеству наряду с параллельным внедрением принятых мер;
- проверка и корректировка системы на предсертификационной стадии;
- сертификация.

Составление справочника QM

Справочник менеджмента качества (QM) – это основной документ для реализации менеджмента качества, и является основным законом предприятия по внедрению менеджмента качества. Порядок составления справочника следующий:

1. Определение и описание политики в этой сфере.
2. Определение модели представления системы QM (ИСО 9001, ИСО 9002, ИСО 9003).
3. Выявление и оценка применяемых методов.
4. Определение структуры справочника и согласование методов.
5. Определение и разработка недостающих методологических инструкций, требуемых в соответствии с нормами ИСО.
6. Разработка справочника по менеджменту качества.
7. Проверка справочника (в том числе потребителями).
8. Издание справочника в комплекте или отдельными частями и обеспечение уверенности в понимании разделов соответствующими сотрудниками.

Справочник должен включать:

- название, цель и область применения;
- введение (общая информация о предприятии и о самом справочнике);
- политику и цели предприятия в области качества;
- описание организационной структуры предприятия, ответственности и компетенции (матрица ответственности);
- описание элементов системы качества и ссылки на методологические инструкции, документы и данные, отсутствующие в справочнике;
- приложение вспомогательных данных.

Структура разделов, описывающих элементы менеджмента качества, аналогична вышеуказанной структуре самого справочника QM. Пример структуры:

- требования и цели;
- цель и сфера применения;
- ответственность и полномочия;
- метод для выполнения требований;
- перечень документов и/или записей, на которые имеются ссылки.

Каждый раздел имеет название и нумеруется. Пример раздела (главы) «Анализ контрактов» представлен на рис. 3.67.

Одним из основополагающих документов справочника QM являются «Политика и цели предприятия в области управления качеством» (рис. 3.68). Документ принимается на общем собрании соответствующего уровня и подписывается руководителем предприятия.

После принятия «Политики предприятия» разрабатывается матрица ответственности администрации и руководителей подразделений предприятия.

АО «КМС»	Справочник QM Глава № 08/15 Анализ контракта	Состояние ревизии 01
		Страница 2 из 7
<p>Назначение главы Путем реализации описаний этой главы на нашей фирме обеспечено принятие к исполнению только тех заказов, на которые имеется двухстороннее соглашение между АО «КМС» и их заказчиками.</p> <p>Ответственность За анализ контрактов, заключаемых между АО «КМС» и их заказчиками, несет ответственность отдел сбыта.</p> <p>Подход Анализ контрактов осуществляется в сотрудничестве с отделами подготовки производства, разработки и службы технического контроля согласно методологической инструкции СТП 007-00, в которой описан этот процесс.</p> <p>Сопутствующие документы Нормативно-техническая документация: 1. Методологическая инструкция СТП 007-01 «Анализ контрактов». 2. Формуляр СТП 007-02 «Производственная программа». 3. Программа ЭОД SAPR-2 код 4711 «Расчеты». 4. Формуляр СТП 007-09 «Спецификация». 5. Формуляр СТП 007-10 «Подтверждение заказа». 6. Формуляр СТП 007-12 «Условия поставки и платежа»</p>		

Рис. 3.67. Содержание главы «Анализ контрактов» справочника QM

Документ «Описание организационной структуры предприятия, ответственности и компетенции (матрица ответственности)» приведен на рис. 3.69.

На предсертификационной стадии производятся внутренние аудиты (проверки) с целью отработки взаимосвязи подразделений и устранения замеченных недоработок. По каждой проверке составляется отчет (рис. 3.70), который затем фиксируется в соответствующей документации.

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
ОАО "РОЛТОМ"

Ю.О. ГАЛЬВАС
19 июня 2001 г.



ПОЛИТИКА

ОТКРЫТОГО АКЦИОНЕРНОГО ОБЩЕСТВА
"РОЛТОМ"

ИСО 9001

В ОБЛАСТИ КАЧЕСТВА ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ

ОАО "РОЛТОМ" с 1941 года является одним из ведущих российских производителей шариковых подшипников для всех отраслей народного хозяйства.

Не менее трети продукции поставляется на экспорт в различные регионы мира, в том числе и в развитые европейские страны. Доля экспорта постоянно возрастает. Основа такого результата - высококвалифицированные рабочие, специалисты, руководители; наличие современных производственных мощностей и испытательной базы; многолетняя специализация в области производства выпускаемой продукции. Качество выпускаемой продукции является основным элементом общей политики предприятия и высшим критерием в оценке управления.

▣ Наши цели:

- максимальное удовлетворение требований потребителей;
- укрепление позиций на рынке подшипников в России и наращивание объема продаж в других странах мира за счет выпуска продукции высокого качества;
- улучшение экономического положения каждого работника и предприятия в целом.

▣ Наши девизы:

- качество продукции ОАО "РОЛТОМ" должно устраивать всех наших потребителей;
- честь марки ОАО "РОЛТОМ" выше всего;
- качество сегодня - это наше благополучие завтра;
- потребитель всегда прав.

▣ Наши методы:

- внедрение стандартов ИСО 9000, принципов и методов всеобщего управления качеством;
- глубокие маркетинговые исследования внутреннего и внешнего рынка, поставщиков, конкурентов;
- научно-технические нововведения, ориентированные на внедрение новых технологий, повышающих качество выпускаемых подшипников и освоение новых типов подшипников, удовлетворяющих самым высоким требованиям потребителя;
- обеспечение производства квалифицированными кадрами, организация систематического обучения управленческого и рабочего персонала.

▣ Наши принципы:

- каждый работник, от директора до ученика, несет ответственность за качество своего труда, своевременно и добросовестно выполняет свою работу;
- проблема качества касается всех членов коллектива. Никто не имеет права принимать решения, которые могли бы каким-либо путем понизить установленный уровень качества;
- качество - непереносимое условие всякого нововведения на всех уровнях производства.

Политика в области качества является обязательной для выполнения всеми службами и подразделениями предприятия.

Принято на общем собрании акционерного общества "РОЛТОМ".

Зам. генерального директора по качеству и метрологии Ю.А. Потехин

Рис. 3.68. Политика предприятия в области качества выпускаемой продукции

Элемент системы качества	Ответственность	Ответственность руководства	Система качества	Анализ контрактов	Управление проектированием	Управление документацией	Закупки	Идентификация и прослеживаемость продукции	Управление процессами	Контроль и испытанная	Управление контролем и испытанием	Корректирующие и предупреждающие действия	Управление регистрацией данных о качестве	Внутренние проверки качества	Экономика качества	Подготовка кадров	Маркетинг
	Директор	О							О								
	Зам. директора по качеству	И	О	С	С	О	И			С	О	О	О	О	И	С	
	Зам. директора по экономике	С	С	И	С	И	И		И			И					
	Зам. директора по производству	С	С	С	О	И	О	С	И	И		И					
	Зам. директора по сбыту	С	С	О	С	И			И								О
	Начальник УМТС	С	С	И	С	И	О	С	И	С		С	С		С		
	Гл. бухгалтер	С	С			И									И		
	Начальник ОК	С	С			С						И				Ю	
	ОГК	С	С	С	И	И	С		С	О	И	И		С			
	Начальник ОТК	С	С	С		И		И	И	О	С	С	И	С			
	ОСиС	С	И			И							И	И			
	Начальник отдела маркетинга		С	С	С	И			С								
	Начальник отдела отдела сбыта		С	С	С	И			С								
	Управление "Ремонт"		С	И	И	И	И		С		С						
	Начальник цеха №1		С			С		И	С	С	С	С					
	Начальник цеха №2		С	С		С		И	С	С	С	С					

Рис. 3.69. Матрица ответственности по элементам системы качества (в сокращении)

ОТЧЕТ № 9

О проведении внутреннего аудита в соответствии с СТП 059-00

Подразделение: Управление «Ремонт».

Дата проверки: 31.07.01 г.

Замечания:

- 1. Не зарегистрированы должностные инструкции в ОСиС.*
- 2. Не на всех перечнях НТД указаны ответственные.*
- 3. Не идентифицированы подписи в журнале выдачи паспортов на оборудование в журнале регистрации заготовок.*
- 4. В ОМА не обозначены места хранения НТД.*

Срок устранения замечаний 3 августа 2001 г.

- 5. Система прослеживаемости деталей по потоку не работает.*
- 6. Должностные инструкции на рабочих находятся на согласовании в ОТиЗе.*

Руководитель подразделения

И.П. Иванов

Рис. 3.70. Отчет о проведении внутреннего аудита в подразделении «Управление «Ремонт»»

При полной готовности предприятия к сертификации проводится внешний аудит представителями фирмы, производящей сертификацию. Сертификат выдается на срок до 3-х лет. После окончания срока действия сертификата производится повторный внешний аудит.

3.21. Эффективность технологий в рыночных отношениях

Конкурентоспособность вновь созданных технологий или машин, реализующих новейшую технологию, зависит от многих факторов (рис. 3.71).

Внутри фирмы, после создания новой продукции, возникают вопросы, связанные с аттестацией своей продукции, защитой авторских прав, рекламой, возможностью воспроизводства продукции конкурирующими фирмами и др. Весьма существенное значение имеет качество полуфабрикатов, обязательность поставщика. Для успешного развития производства необходимо комплексное управление компанией по пра-



Рис. 3.71. Схема влияющих факторов

ционные качества, самая высокая надежность, самый длительный срок службы, безопасность, быстрота, самое высокое качество за данную цену, самая низкая цена, самый высокий престиж, лучшая конструкция или стиль, простота в обращении, максимальное удобство.

При создании новой продукции необходимо учитывать спрос потребителя на данный продукт, его покупательскую способность. Эти вопросы решаются проведением маркетинга (табл. 3.32).

Маркетинг – наука и искусство нахождения, сохранения и расширения выгодной клиентуры [26].

Товар с новыми потребительскими качествами вызывает интерес не только у потребителя, но и у конкурентов. Для предотвращения пиратского производства этого товара, фирма создавшая новый товар, должна предусмотреть необходимую защиту. Защита может быть технологической, правовой, организационной и др. Технологическая защита предполагает наличие в технологии производства ноу-хау, не позволяющего воспроизводить новый товар в других условиях. Правовая защита – комплекс юридических документов, удостоверяющих право фирмы на производство данного товара. Организационная защита – комплекс организационных мероприятий, позволяющих сделать необходимый запас продукта (работа на склад), после чего фирма поставляет его на рынок в больших объемах. В общем, необходимо выяснить, каковы цели конкурентов, стратегии, сильные и слабые стороны, методы конкурентной борьбы. Конкурентоспособность нового продукта зависит от внешнего окружения, составляющими которого являются СТЕР-

вилам менеджмента. **Менеджмент** компании представляет собой управление:

- производством;
- маркетингом;
- финансами;
- персоналом;
- хозяйственной деятельностью (учет и анализ хозяйственной деятельности).

Для завоевания рынка необходимо, чтобы новый продукт имел преимущества, которые можно включать в рекламу: лучшее качество, лучшие эксплуатационные качества, самая высокая надежность, самый длительный срок службы, безопасность, быстрота, самое высокое качество за данную цену, самая низкая цена, самый высокий престиж, лучшая конструкция или стиль, простота в обращении, максимальное удобство.

факторы. STEP – аббревиатура английских слов: социальные, технологические, экономические, политические.

Таблица 3.32

Маркетинг в рыночных отношениях [26]

Раньше	Сейчас
Все производить внутри компании	Покупать больше вне компании
Усовершенствования вносить самостоятельно	Совершенствоваться, опираясь на достижения других компаний
Работать независимо от остальных	Сотрудничать с другими фирмами
Разделять работу между разными отделами	Решать возникающие проблемы при помощи многоцелевых групп
Сосредотачиваться на внутреннем рынке	Концентрироваться как на внешнем, так и на внутреннем рынке
Обращать внимание на производство товара	Сосредоточить внимание на рынке и потребителе
Производить типовые товары	Производить адаптированные товары и/или товары по индивидуальным заказам
Ставить на первое место товар	Обращать особое внимание на стоимость товара
Практиковать массовый маркетинг (один товар на весь рынок)	Практиковать целевой маркетинг (товары на определенные сегменты рынка)
Найти длительное преимущество в конкурентной борьбе	Найти новые пути, дающие преимущество над конкурентами
Развивать новые товары медленно и тщательно	Ускорять появление новых товаров и производственный цикл
Создавать большие запасы	Не создавать значительные запасы
Управлять сверху	Управлять сверху, снизу и по горизонтали
Работать на рынке	Работать также и на рынке

Социальные: демографический фактор, соотношение числа трудоспособного населения к общей численности и др.

Технологические: создание новейших технологий, стимулирующих или использующихся при создании нового товара. Такие технологии, как создание квантового компьютера, расшифровка генома человека, стимулируют создание новых изделий и технологий. Появление персонального компьютера, видеокамер, компакт-дисков, оперативной цветной полиграфии способствовали появлению на рынке различных технологий.

Экономические: процентные ставки Центробанка, уровень инфляции, курс национальной валюты – влияют на эффективность создаваемых технологий и изделий.

Политические: курс правительства на снижение налогов, квоты на экспорт, цены на энергоносители и др.

3.22. Технологическая документация

Комплекс графических и текстовых документов, определяющих технологию изготовления (ремонта) изделия, которые содержат данные для организации производственного процесса, называется технологической документацией. В машиностроении государственными стандартами установлена Единая система технологической документации (ЕСТД).

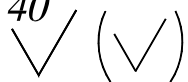
Согласно ЕСТД основные технологические документы подразделяют на документы общего и специального назначения. Документами общего назначения являются карты эскизов (КЭ) и технологическая инструкция (ТИ). Документы специального назначения посвящены описанию технологических процессов и операций в зависимости от типа и вида производства. К документам специального назначения относятся: маршрутная карта (МК), карта технологического процесса (КТП), карта типового (группового) технологического процесса (КТТП), операционная карта (ОК). При применении станков с ЧПУ добавляются карта кодирования информации (ККИ), карта наладки (К/Н).

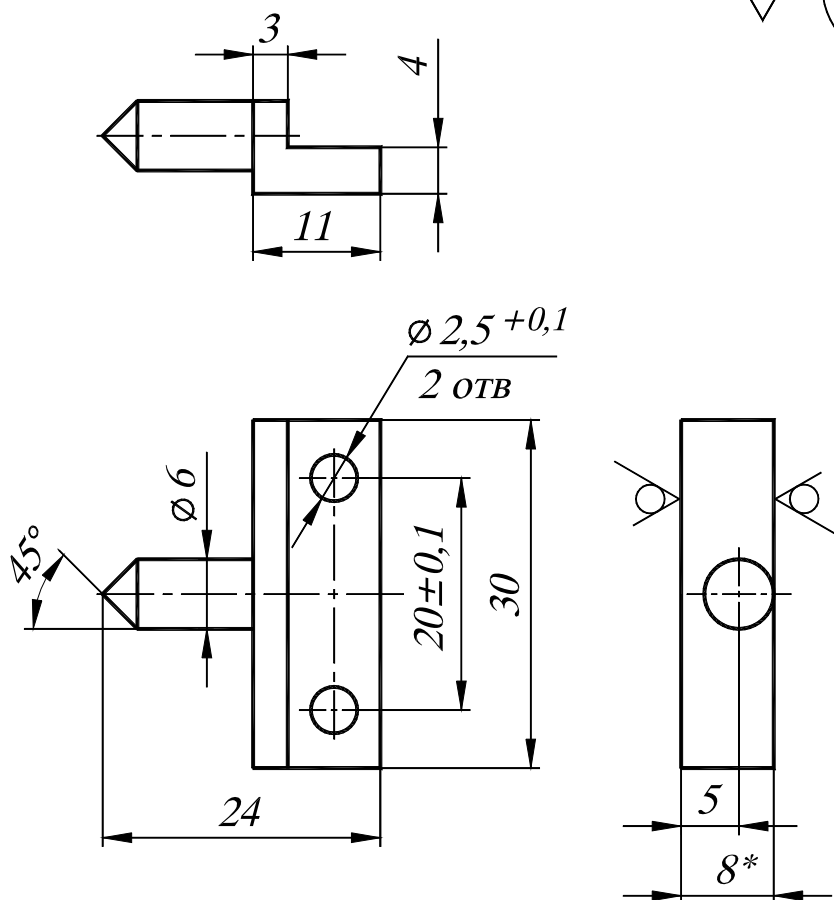
В маршрутной карте (рис.3.73) дается полное описание технологического процесса изготовления детали (рис. 3.72).

Операционная карта состоит из операционного эскиза (рис. 3.74) и текстового описания (рис. 3.75).

Для станков с ЧПУ обязательным документом является карта наладки. На рис. 3.76 показан эскиз карты наладки для токарного станка с ЧПУ и текстовое описание карты наладки (разработано с помощью САПРТП-2). Для фрезерного станка с ЧПУ представлен эскиз карты наладки на рис. 3.77.

ЮИЛЕ 753342.001

Rz 40




1. Масса заготовки 0,024 кг, не более,
КИМ – не менее 0,3
2. * Размер для справок
3. Н14, h14, ±t2/2
4. Покрытие: Ан. Окс. хр.

				ЮИЛЕ 753342.001				
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Ловитель	Литера	Масса	Масшт.
Разраб.	Шабаева							2:1
Провер.	Сидоров							
Т.контр.	Ильиных					Лист	Листов 1	
Нач.сек	Долматова					Отдел 12		
Н.контр	Голубева				Лист Д16 АТ8 ГОСТ 21631-76			
Утв.	Лях							

Рис. 3.72. Чертеж детали

ГОСТ 3.1404-86										Форма 3		
Дубл.												
Взам.												
Подл.										XXXXX.XXXXXX	3	2
Разраб.	Роцулкин А.В.											
Проверил	Должиков В.П.									XXXXXX.XXXXXXXX	XXXXX.XXXXXXX	
Н.контр.	Темришаев В.С.											
Наименование операции		Технолон		Т22.156.00.15		Фланец		Профиль и размеры		МЗ		КОИД
Токарная		Материал		ТВ		МД		Ф57х53		1,22		1
Оборудование, устройство ЧПУ		Обозначение программы		То		Тлз.		Тшт.		СОЖ		
Токарный SHAUBLIN 125		ПИ		D или B		L		t		i		S
P	01											
O	02	А. Установить заготовку в цанговом патроне										
	03	База: внутренний диаметр Ф24 (-0,021) и торец										
T	04	Патрон цанговый ГОСТ 2876-80										
	05											
O	06	1. Подрезать торец, выдерживая размер 48 (-0,1)										
T	07	Торцовое биеение согласно эскизу										
T	08	Шероховатость поверхности не более Ra 1,6										
T	09	Резец 2100-2069 ГОСТ 26611-85; Пластина 01331-160408 ГОСТ 19045-80-T15K6										
T	10	Микр. МК-50 ГОСТ 6507-78; Головка измерительная ИИГМ ГОСТ 5584-75										
T	11	Стойка С-III ГОСТ 10197-70; Образцы шероховатости ГОСТ 9378-75										
	12		55	1	3	0,09	810	139				
	13											
	14											
	15											
OK												

Рис. 3.75. Операционная карта технологического процесса

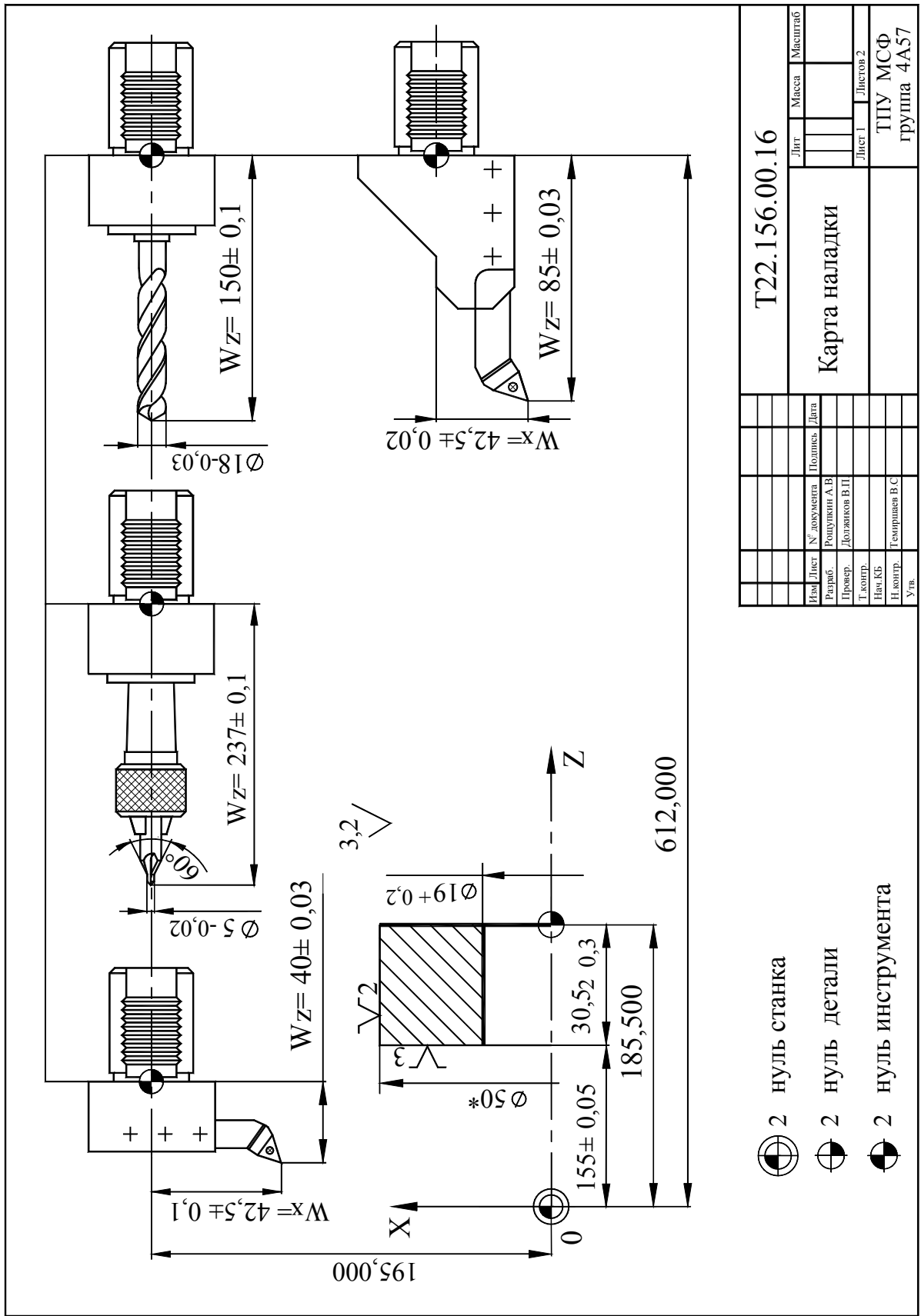


Рис. 3.76. Эскиз карты наладки для токарного станка с ЧПУ модели СПИ220АП

Дубл. Взам. Подл.		ГОСТ 3.14042 86		Форма 4 САПР	
				XXXXX.XXXXXX 2 1	
Разраб. Проверил	Шаронов С.А. Должиков В.П.	T22.156.00.16		XXXXXX.XXXXXXXX XXXXXX.XXXXXX	
Н.контр.	Темиршаев В.С.	ВТУЛКА		40	1 1 030
У	Опер	Обозначение детали, программы, оборудования, устройства ЧПУ			
Т	Пер.	ПИ	Вспомогательный и режущий инструмент (код, наименование)	Наладочные размеры	Коррект.разм. НК
У 01	800012	00023;	Станок с ЧПУ СТП2 220АП; Устройство ЧПУ CNC2 T		
02					
Т 03	1	КВИ2 1;	РЕЗЦЕДЕРЖАТЕЛЬ 31.21.000 РЕЗЕЦ 21012 0644 ГОСТ 208722 80	WX=42,5	1X
Т 04			ПЛАСТИНА 081162 190610 ГОСТ 190622 802 T15K6	WZ=40	1Z
05					
Т 06	2	3	КВИ2 006; СВЕРЛОДЕРЖАТЕЛЬ 690.09.6010; ОПРАВКА 60392 60052 02	WX=0	2X
Т 07			ПАТРОН СВЕРЛИЛЬНЫЙ 82 В12 ГОСТ 85222 79	WZ=237	2Z
08			СВ. ЦЕНТР. Ф3,2 23172 0164 ГОСТ 149522 75 P5M5		
Т 09					
Т 10	3	5	КВИ2 11; СВЕРЛОДЕРЖАТЕЛЬ 31.23.000; ВТУЛКА ПЕРЕХОДНАЯ	WX=0	2X
11			65002 6008; СВЕРЛО Ф18 23012 0431 ГОСТ 20922 77 P6M5	WZ=150	2Z
12					
13	4	7	КВИ2 005; РЕЗЦЕДЕРЖАТЕЛЬ 31.22.000	WX=42,5	3X
14			РЕЗЕЦ РАСТОЧНОЙ 21412 61322 092 3 BK6M	WZ=85	3Z
15					
КН					

Рис. 3.76. Продолжение (текстовая часть)

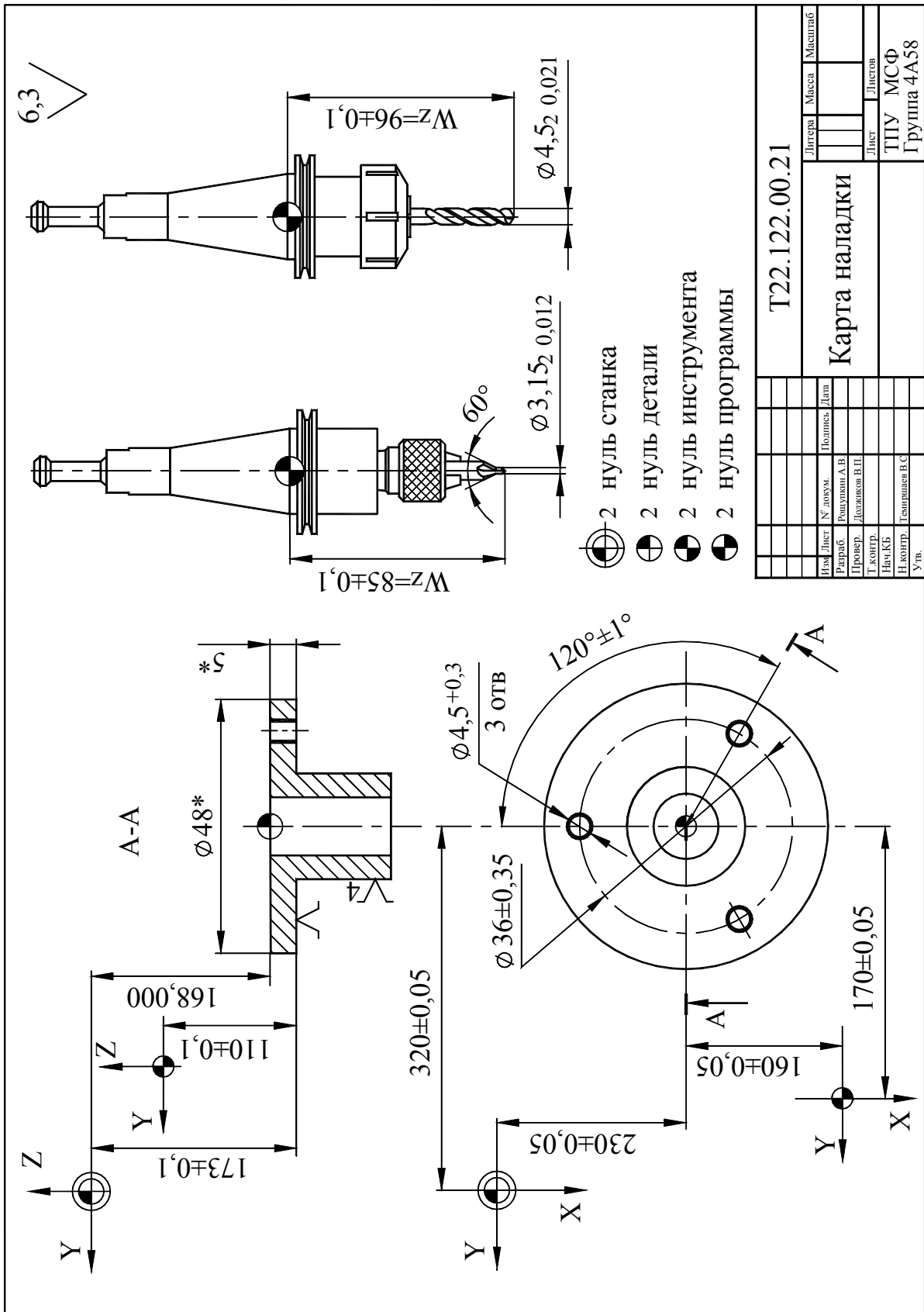


Рис. 3.77. Эскиз карты наладки обработки отверстий на станке ИР320ПМФ4

IV. Тенденции развития технологии механообрабатывающего производства

Потребности рынка диктуют переход к более высокой точности обработки на станках. Ранее точность обработки, например, автомобильных деталей, составляла 10 мкм, а у сверхточных деталей достигала 1 мкм. В настоящее время точность чистовой обработки возросла до 0,1 мкм и даже 0,01 мкм. Наряду с традиционными точными изделиями (детали оптической техники, диски памяти компьютеров, аэростатические и жидкостные подшипники, детали насосов и т.п.) в номенклатуру изготавливаемых изделий входят детали медицинской техники, оптических систем, устройств для биологических исследований и др. Допускаемая погрешность формы таких деталей составляет 0,01...0,1 мкм (10...100 нм), а шероховатость $Ra = 0,002...0,01$ мкм (2...10 нм).

Одновременно с увеличением точности обработки должна возрастать производительность оборудования.

В настоящее время актуальными становятся тенденции в развитии технологии, оборудования, оснастки, режимов обработки.

Технология механообработки

В мелкосерийном механообрабатывающем производстве получают распространение принципы построения технологии, характерные для серийного и крупносерийного производств. Это способствует концентрации операций, расширению области применения многошпиндельных и многопозиционных станков, выполняющих различные по характеру операции.

Для современного этапа развития машиностроительного производства наряду с обработкой резанием характерно широкое применение электро- и физико-химических, а также комбинированных методов обработки особенно для изготовления деталей из труднообрабатываемых материалов и деталей сложной формы. Прогресс в этой области связан с совершенствованием лазерной, электроэрозионной, ультразвуковой, абразивно-эрозионной, абразивно-электрохимической, абразивно-струйной обработки и др. [6]. Наиболее часто применяют лазерную и электроэрозионную обработку, получение деталей из порошковых материалов.

Рациональными областями применения нетрадиционных методов обработки являются операции, для которых использование резания экономически неэффективно или технически невозможно.

Совершенствование **лазерной** обработки происходит в области линейного и контурного разрезания хрупких и твердых материалов – стекла, керамики, кварца, а также текстиля, бумаги, картона, пластмасс толщиной 3...5 мм. В этих случаях лазерная обработка значительно эффективнее обработки резанием.

Использование лазера для получения сквозных отверстий в листовой стали толщиной до 12 мм не приведет к значительному сокращению парка сверлильных станков. Однако в долгосрочной перспективе ожидается, что на операциях прошивки сквозных отверстий лазер сможет полностью заменить сверлильные станки.

Медь и благородные металлы, обладающие высокой теплопроводностью, пригодны для резки лазером при толщине материала до 0,2–0,5 мм. Для обработки алюминиевых сплавов, имеющих высокую отражающую способность и теплопроводность, используются лазеры большой мощности. Титан, с трудом поддающийся обработке резанием, успешно обрабатывается лазером. В свете последних научных открытий и создания новых технологических методов использования лазера не только для резки материала, но и для формообразования изготавливаемых деталей, становится ясно видно, что лазерная технология обработки материалов имеет все большее распространение. При этом технологические комплексы для лазерной обработки оснащаются автоматическими системами, позволяющими создавать на базе этих комплексов гибкие автоматизированные модули. Такие модули можно встраивать в ГПС механообработки.

Обработка лазером имеет достаточно широкие перспективы, позволяющие ей в скором будущем заменить вырезку деталей по контуру и сверление сквозных отверстий.

Электроэрозионная обработка эффективна при обработке металлических малогабаритных заготовок сложной формы и высокой точности (5...6 квалитет), в том числе закаленных. Для уменьшения энергозатрат и повышения производительности электроэрозионную обработку сочетают с другими видами обработки – резанием, химической и др.

Порошковая металлургия в некоторых областях промышленного производства занимает лидирующее положение, например при производстве твердосплавных пластин или твердосплавного режущего инструмента. Революционный прорыв в порошковой металлургии связывают с внедрением нанопорошковых технологий. Свойства изделий из нанопорошков будут намного превосходить свойства изделий, полученных из обычных порошков.

В последние годы обработку резанием для повышения производительности заменяют **обработкой давлением**, например для получения заготовок малогабаритных зубчатых колес.

Расширяется область применения нетрадиционного метода обработки – метода тонкого (размерного) **пластического деформирования**.

Таким образом, при анализе методов обработки можно сделать следующий вывод: электрические методы обработки, обработка давлением, холодное и горячее прессование, методы порошковой металлургии лишь частично заменят обработку резанием, и, как правило, в специальных областях.

Обработка резанием вследствие ее широких технологических возможностей сохранит приоритет среди других методов обработки.

Режущий инструмент и режимы механообработки

Развитие характеристик режущих материалов направлено в сторону увеличения твердости, стойкости, износостойкости, что не всегда соответствует требованиям идеального инструментального материала (рис. 4.1).

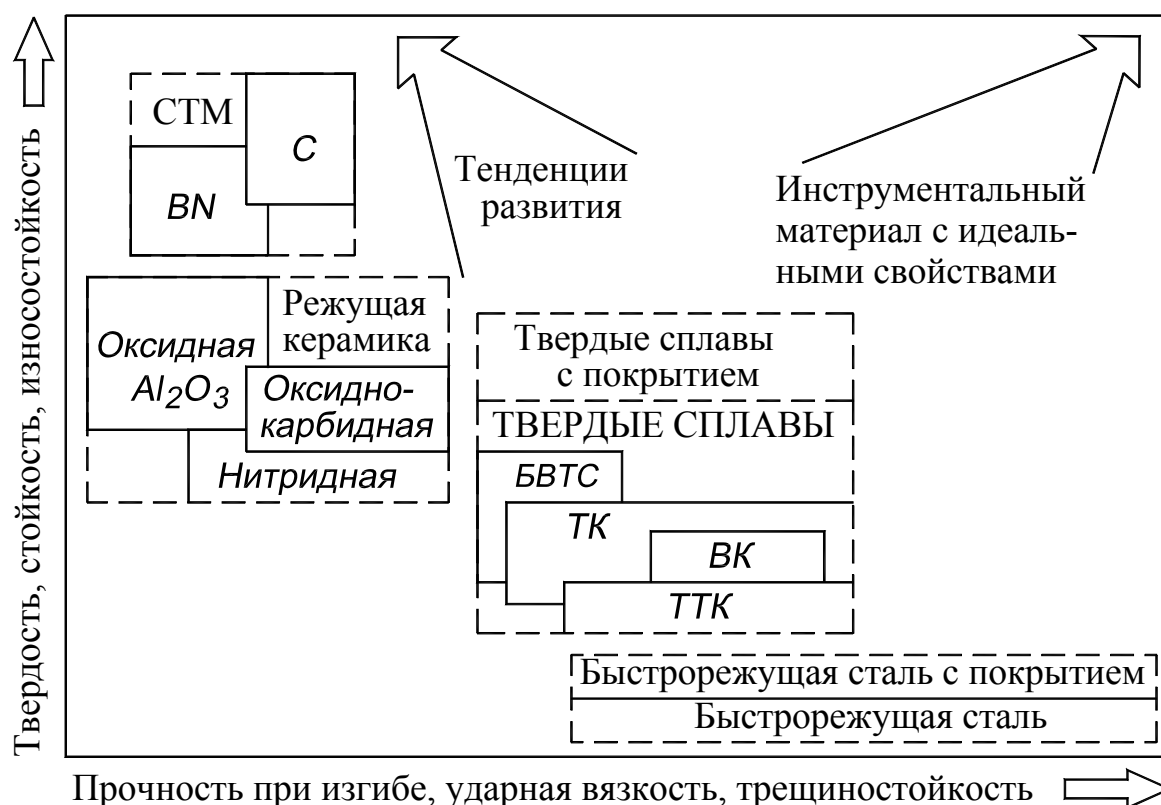


Рис. 4.1. Классификация инструментальных материалов по их свойствам [9]

В сортаменте марок **углеродистых инструментальных сталей** и **инструментальных легированных сталей** за последние 20 лет суще-

ственных изменений не произошло. Наблюдается устойчивая тенденция снижения их доли в общем объеме используемых инструментальных материалов.

Быстрорежущие стали. Развитие быстрорежущих материалов происходит в сторону увеличения доли комплексно-легированных вольфрамомолибденованадиевых и вольфрамомолибденованадиекобальтовых сталей повышенной производительности (P6M5K5, P9M4K8, P12M3Ф2K8) с высокими технологическими свойствами, обеспечивающими повышение стойкости инструмента в 3–5 раз, уменьшение основного времени обработки на 25–40% по сравнению с обработкой инструментами из стали P18. Стали марок 10P6M5 и P9M4K8 рекомендуются для безударной и чистовой обработки, стали марок P6M5K5 и P6M5K5ЭШП (электрошлакового переплава) – для черновых операций с ударными нагрузками.

Ведутся работы по созданию и использованию «сверхбыстрорежущих» сталей высокой вторичной твердости (68...70 HRCэ) и теплостойкости (640...650 °С), а также сталей с интерметаллидным упрочнением и теплостойкостью 680...700 °С [9].

Перспективно применение резцов, сверл из быстрорежущих сталей, полученных методом порошковой металлургии и позволяющих увеличить скорость резания на 20–25%.

Применение **быстрорежущей стали с покрытием** позволяет повысить стойкость режущего инструмента в 2–5 раз, скорость резания на 15–40%, заменить стали P18 и P9K5 на стали P6M5 и P6M3.

Переход от инструмента из быстрорежущих сталей к **твердосплавному** позволяет существенно увеличить скорость резания и сократить примерно в 2–3 раза основное время обработки.

Развитие твердых сплавов связано с разработкой сплавов особомелкозернистой и ультрамелкозернистой структуры, с развитием технологии изготовления сплавов, а также с внедрением дополнительных операций по доуплотнению структуры сплавов на специальных установках.

Упрочнение связки в твердых сплавах позволяет увеличить прочность и сопротивляемость высокотемпературной ползучести. Упрочнение инструментального материала производят за счет внедрения Co–Re или Co–Ru-связок, а также менее дорогих – Fe–Co, Fe–Ni, Co–Ni, Fe–Co–Ni, Fe–Mo [9].

Отмечается тенденция замены карбида тантала более эффективными карбидами гафния, ниобия, хрома, ванадия. Наиболее радикально совершенствуются безвольфрамовые твердые сплавы (БВТС) на основе

TiC и TiC–TiN. Эти сплавы в ряде случаев полностью вытесняют вольфрамсодержащие сплавы.

Весьма прогрессивным является применение твердосплавного инструмента, имеющим износостойкое покрытие из карбида титана, нитрида титана, окиси алюминия и др. Пластины с покрытием для черновых и получистовых работ имеют в 2–3 раза большую стойкость, чем пластины без покрытия, что позволяет повысить скорость резания на 25–30%.

Режущая керамика. Большое значение имеет освоение выпуска пластин из режущей керамики на основе окиси алюминия типа ВШ-46, ВШ-75, ВО-13, керамики окисно-карбидного класса типа В-3, ВОК-60, ВОК-63, окисно-нитридной типа ОНТ-20, нитридной – РК-30.

Режущая окисидная керамика, упрочненная волокнами из карбида кремния, используется для обработки сплавов, содержащих никель, цементованных и термообработанных сталей, а также серого чугуна. Керамика на основе нитрида кремния дает возможность вести обработку в широком (до 1000 м/мин) диапазоне скоростей резания. Нитридная керамика в настоящее время применяется при обработке серого чугуна и суперсплавов, т.к. она имеет высокую степень диффузионного износа.

Тенденции развития керамических материалов связаны с совершенствованием технологии производства, оптимизацией состава традиционных марок керамики, широким применением армированной керамики и расширением области применения инструмента на основе нитрида кремния.

Сверхтвердые синтетические поликристаллические инструментальные материалы (ПСТМ). Для финишной обработки термически упрочненных до высокой твердости сталей и чугунов эффективны инструменты из синтетических сверхтвердых материалов (ПСТМ) на основе кубического нитрида бора. Применение инструмента из ПСТМ ($S=0,2-0,12$ мм/об, V до 1100 м/мин) позволяет изменить традиционный технологический процесс изготовления деталей из закаленных сталей и производить механическую обработку после термической. Синтетические сверхтвердые материалы на основе кубического нитрида бора, который внедряется в виде вставок в пластины из твердого сплава, могут быть использованы для обработки твердых (до 68 HRC_Э), хромоникелевых и хромоникелемолибденовых сталей со скоростью 130 м/мин.

Высокоскоростная обработка. Все отчетливее проявляется тенденция повышения скоростей резания до 10 000 м/мин с повышенным съемом металла в единицу времени.

Различают резание с обычными скоростями, высокоскоростное резание (ВСО) и сверхвысокоскоростное резание (СВО), причем для

ВСО скорости возрастают на порядок, а для СВО на два порядка по сравнению с обычной обработкой.

Высокоскоростное резание особенно широко применяется при изготовлении сложных цельнометаллических изделий, в процессе обработки которых в стружку уходит до 80...90% массы заготовки. Производительность возрастает в 3–10 раз. Повышается качество поверхности и точность, что связано с повышенным демпфированием в зоне резания, лучшими условиями образования и отвода стружки, уменьшением сил резания (вследствие изменения характера разрушения материала и преобладания хрупкого разрушения) [6].

Высокоскоростное резание стало возможным в результате освоения прогрессивного режущего инструмента на основе мелкозернистого твердого сплава с покрытиями, керамики, кубического нитрида бора, алмазного инструмента.

Высокие скорости (300–900 м/мин) применяют при токарной обработке изделий из чугуна инструментами с минералокерамическими пластинами; из стали – инструментами с пластинами из минералокерамики, твердого сплава, в том числе с различными покрытиями, алмазными инструментами со скоростью резания 600–3600 м/мин.

Сверление чугуна и стали твердосплавным инструментом может проводиться со скоростью до 150 м/мин, а токарная обработка этих материалов режущей керамикой до 1400 м/мин.

Применение высокоскоростного фрезерования позволяет упростить управление процессом достижения размера и качества поверхности, обеспечить обработку тонкостенных деталей.

Высокая термостойкость минералокерамики позволяет применять ее в качестве режущего инструмента для ВСО, хотя возможно использование твердых сплавов с карбидом вольфрама, а также с титановым покрытием.

При обработке нетрадиционных материалов эффективно применение высокоскоростного фрезерования (скорость резания до 10 000 м/мин и подача до 30 м/мин). Например, при обработке алюминия и пластмасс производительность обработки возрастает на 200...600%, а при обработке других легких металлов и сплавов – на 150...400%. Скоростная токарная обработка нашла свое применение при изготовлении деталей малых размеров. При обработке волокнистых, полимерных композитов целесообразно применение скоростного сверления.

Скоростное зубофрезерование твердосплавными червячными фрезами эффективно при получистой и чистовой обработке закаленных зубчатых колес. Перспективно также скоростное предварительное нарезание зубьев на незакаленной заготовке.

При обработке **абразивных** и легкометаллических и неметаллических материалов применяются поликристаллические (зернистые) алмазы.

Необходимость повышения производительности и точности обработки, снижения ее стоимости определяют расширение областей применения **абразивной** обработки (шлифования) вместо операций точения, фрезерования, строгания. Прогнозы показывают, что в ближайшие 20 лет 25% процессов, выполняемых в настоящее время лезвийными инструментами, и около 50% процессов чистовой обработки будут заменять шлифованием.

Повышение производительности и снижение трудоемкости шлифования достигается:

- интенсификацией обработки и применением новых абразивных материалов (скоростное и силовое шлифование);
- концентрацией кругов, совмещением операций и переходов (многокруговые, торцекруглошлифовальные станки и т.п.);
- полной автоматизацией загрузки-выгрузки обрабатываемых деталей;
- сокращением времени на промежуточные контрольные замеры деталей в результате оснащения станков приборами активного контроля.

В будущем перспективно внедрение ленточного шлифования, обеспечивающего повышение производительности в 3–7 раз по сравнению с обычным шлифованием, при этом обеспечивается более высокая износостойкость изделий при эксплуатации.

Расширяется область применения кругов из нитрида бора и алмазных шлифовальных кругов. Так, производительность при шлифовании кругами из нитрида бора повышается в 5 раз по сравнению со шлифованием кругами из карбида кремния.

Развитие абразивных инструментов и материалов связано:

- с совершенствованием существующих и созданием новых абразивных материалов и инструментов;
- повышением стабильности качества материалов и инструментов;
- расширением использования инструментов из высокотвердых материалов, новых структур шлифовальных кругов с применением тонких волокон из искусственных кристаллов;
- с применением шлифовальных кругов, которые имеют тройное увеличение эластичности по сравнению с существующими в настоящее время, а также кругов с дефинированной геометрией зерен, постоянством положения и неизменяющимся качеством по всему объему круга.

Совершенствование **электрокорунда** намечается путем увеличения выпуска **белого электрокорунда** новых марок 15А и 16А, белого

электрокорунда повышенного качества марок 44А и 25А, **сложнолегированного корунда марки 91А**, применение которого позволит повысить производительность на 10–20%.

Предусматривается расширение области применения алмазно-абразивного инструмента, работающего при шлифовании со скоростью 60–80 м/сек, а при резке металла – со скоростью 100–120 м/с.

Предполагается, что внедрение новых конструкционных материалов повышенной прочности и твердости, стойких к стиранию и износу, может оказать стимулирующее воздействие на развитие шлифования в большей степени, чем на токарную обработку. При обработке материалов, в том числе искусственных, более интенсивно стали применяться хонингование и притирка.

Шлифовальные круги из кубического нитрида бора с керамической связкой, высокопористые круги, круги для станков с ЧПУ отличаются высокой стойкостью и стабильностью шлифующих свойств. Для шлифования перспективно использование кругов из легированных высококачественных электрокорундов, сферокорунда и монокорунда высокой чистоты, синтетических монокристаллических высокопрочных термостойких алмазов, новых видов поликристаллических синтетических алмазов и алмазосодержащих композитных материалов. Новые связки для абразивных материалов расширяют возможности высокоскоростного шлифования.

Технологическое оборудование

При создании нового технологического оборудования получили развитие три направления: создание высокоскоростного и высокопроизводительного оборудования, поиск конструктивных решений сверхточных станков, совершенствование мехатронных систем.

При создании новых станков используются следующие направления в проектировании (табл. 4.1).

При определении технических характеристик проектируемых **высокоскоростных станков** руководствуются следующим [6]:

- частота вращения шпиндельных узлов должна составлять 100 000 об/мин и более при точности 1...2 мкм;
- улучшение динамических характеристик станков и уменьшение тепловых деформаций;
- создание надежной микропроцессорной системы контроля состояния режущего инструмента;
- повышение эффективности отвода стружки из зоны резания (например, при фрезеровании алюминиевых сплавов со скоро-

Таблица 4.1

Тенденции развития станкостроения

Требования к металлорежущему оборудованию	Свойства оборудования и организационные меры, обеспечивающие выполнение требований
1	2
Гибкость, позволяющая соответствовать изменяющимся требованиям рынка	<p>Гибкость оборудования и системы управления. Легкость и возможность оперативного изменения структуры производственной системы и отдельных единиц оборудования.</p> <p>Интеграция сведений о работе оборудования, качестве продукции и других данных на всех уровнях управления.</p> <p>Совместимость программного обеспечения для разных CAD/CAM/CAE-систем.</p>
Постоянное повышение производительности путем совершенствования процессов, связанных с работой оборудования, персонала и систем управления	<p>«Дружественность» программного обеспечения к обслуживающему персоналу.</p> <p>Доступность данных, собранных системами контроля, управления и другими, для анализа и выработки управленческих решений.</p> <p>Агрегатно-модульный принцип построения оборудования и систем управления для возможности диверсификации производства.</p> <p>Возможность быстрой интеграции производства.</p> <p>Легкость и простота обслуживания.</p> <p>Сокращение сроков обучения персонала и внедрение новой техники.</p> <p>Обеспечение эффективного использования оборудования, сокращение эксплуатационных затрат.</p>
Сокращение стоимости изготовления единицы продукции, т.е. повышение прибыли от капиталовложений в производство	<p>Приобретение оборудования только с необходимыми техническими параметрами и технологическими возможностями. Увеличение среднего времени наработки на отказ и минимизация среднего времени ремонта оборудования. Повышение производительности оборудования. Максимальное использование основных фондов. Получение максимальной прибыли от капиталовложений в технологию, оборудование, организацию производства и управление.</p>

1	2
Повышение конкурентоспособности используемых технологий, оборудования, систем управления, что дает уверенность в поставке заказчику высококачественной продукции и обеспечение сервисных услуг	<p>Оказание заказчику услуг при изменении технологий и организации производства.</p> <p>Поддержка заказчика в течение всего периода жизненного цикла оборудования (CALS-технологии).</p> <p>Оперативная поддержка заказчика и готовность к сотрудничеству.</p> <p>Разработка проблемно-ориентированных систем проектирования изделий и комплексных требований к их внедрению.</p> <p>Стратегия агрегатно-модульного построения оборудования и открытой архитектуры систем управления. Объединение технического и финансового управления проектом при решении комплексных задач реструктуризации производства.</p>

стью 3000 м/мин при мощности привода 100 кВт выход стружки составляет 1000 кг/ч);

- длительное сохранение точности основных узлов, что предполагает новые подходы к выбору материалов и основных подсистем станка;
- ужесточение требований к технике безопасности в целях исключения травмирования обслуживающего персонала и повреждения станка летящей стружкой, осколками инструмента и т. п. В связи с этим изменяются подходы к выбору механизмов зажима (геометрическое замыкание вместо силового) и к балансировке быстровращающегося инструмента или заготовки;
- оснащение станков приводами и системами управления с повышенным быстродействием;
- оптимизация геометрических параметров инструмента в зависимости от свойств обрабатываемого материала.

В связи с развитием технологий, реализующих нанотехнологии, производится **поиск конструктивных решений сверхточных станков.**

Для фрезерных станков на современном этапе характерно повышение уровня автоматизации, превращение их во фрезерные обрабатывающие центры, выполняющие комплексную обработку заготовок (фрезерование, сверление, растачивание, строгание) с пяти сторон за один установ. В этом случае операция точения деталей больших размеров,

выпускаемых мелкими партиями, может быть заменена операцией фрезерования на таких станках.

На обрабатывающих центрах выполняют операции сверления деталей, выпускаемых большими партиями, с небольшим объемом сверлильных переходов. При оснащении станка автоматической многошпиндельной сменной сверлильной головкой производят сверление деталей и с большим объемом сверлильных переходов. Шлифовальная операция (как переход) также может быть выполнена на фрезерной операции (с помощью шлифовальной головки, интегрированной в обрабатывающий центр).

Перспективы развития шлифовальных станков связаны с концентрацией выполняемых на станке операций. Для этого применяются шлифовальные обрабатывающие центры, оснащенные автоматической сменой шлифовальных кругов и автоматической системой контроля за настройкой станка и процессом шлифования при помощи встроенных контрольно-измерительных устройств.

Наметилась тенденция оснащения координатно-шлифовальных станков двухшпиндельными бабками, превращая тем самым их в обрабатывающие центры.

Оснащение шлифовальных станков графическими дисплеями и многопроцессорными устройствами с развитым программным обеспечением значительно повышает уровень их автоматизации.

В перспективе ожидается интенсивная модернизация и повышение уровня автоматизации фасонно-отрезных станков, широкое применение программного управления, уменьшение вибрации при отрезке за счет использования полимербетона для станин отрезных станков с ленточными пилами.

Применение станков с ЧПУ

Для развития станков с ЧПУ характерно:

- расширение функциональных возможностей систем ЧПУ, приводящее к использованию модулей диагностирования, измерения размеров детали, контроля состояния инструментов, анализа результатов и автоматической коррекции управляющей программы в процессе обработки и т.д.;
- повышение уровня автоматизации различных типов станков, концентрация операций и использование на одном станке различных технологий обработки;
- расширение области применения переналаживаемых автоматических линий и агрегатных станков, управляемых УЧПУ типа CNC, что обеспечивает быструю переналадку оборудования.

Продолжается создание многошпиндельных обрабатывающих центров, оснащение их независимыми (вертикальной и горизонтальной) шпиндельными бабками, программно-управляемыми встроенными или накладными глобусными столами. В данном случае предполагается, что темпы роста технологических возможностей новых металлорежущих станков, их производительности, точности, надежности и т.п. будут опережать темпы роста стоимости станков. При этом ускорение процесса смены моделей выпускаемых машин и сроков освоения новых моделей, способность изготовителя приспосабливаться к требованиям потребителя играет бóльшую роль для конкурентоспособности станков, чем только рост их производительности.

Повышение гибкости автоматизированного мелкосерийного производства

Во всем мире наметилась тенденция к повышению доли автоматизированного мелкосерийного механообрабатывающего производства. Увеличиваются требования к гибкости этого типа производств. В области создания гибких производств наметилось следующее направление [6]:

- переориентация на проектирование гибких производственных ячеек (ГПЯ) и модулей (ГПМ) вместо крупных систем (ГПС);
- распространение разомкнутых ГПС, которые можно наращивать и видоизменять путем введения в них ГПЯ и ГПМ;
- расширение выпуска оборудования (более 30%), встраиваемого в ГПС, причем число ГПМ растет быстрее, чем ГПС;
- усиление роли станкостроителей в разработке проектов автоматизации машиностроительных заводов.

Учитывая большую **наукоемкость** гибких производств и их перспективность, развитые страны реализуют международные научно-технические программы создания таких производств.

Список литературы

1. Альперович Т.А. и др. Конструкция шлифовальных станков: Учеб. для ПТУ / Т.А. Альперович, К.Н. Константинов, А.Я. Шапиро. – М.: Высш. шк., 1989. – 288 с.; ил.
2. Артамонов Б.А., Волков Ю.С., Дрожалова В.И. и др. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов: Учеб. пособие (в 2-х томах). Т.2. Обработка материалов с использованием высококонцентрированных источников энергии / Под ред. В.П. Смоленцева. – М.: Высш. школа, 1983. – 208 с.; ил.
3. Балакшин Б.С. Основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 1969. – 559 с.
4. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. – М.: Машиностроение, 1975. – 344 с.
5. Брюхов В.В. Повышение стойкости инструмента методом ионной имплантации. – Томск: Изд-во НТЛ, 2003. – 120 с.
6. Бушуев В.В. Тенденции развития мирового станкостроения // СТИН. – 2000. – № 9. – С. 20 – 24.
7. Быков А. Желаемое и действительное в геометрическом моделировании // САПР и графика. – 2002. – № 1. – С. 15 – 20.
8. Васильев А.С. Основы метрологии и технические измерения: Учеб. пособие для сред. ПТУ. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.; ил.
9. Васин С.А., Верещака А.С., Кушнер В.С. Резание материалов: Термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании: Учеб. для техн. вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 448 с.; ил.
10. Виттингтон К., Власов В. Высокоскоростная обработка // САПР и графика, – 2002. – № 11. – с. 107 – 113.
11. Гаврилов А.Н. Технология авиационного приборостроения: Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 1981. – 472 с.; ил.
12. Гасанов Ю.Н. Износ поверхностей деталей, обработанных при различных сочетаниях технологических операций // Вестник машиностроения. – 2001. – № 4. – с. 50 – 52.
13. Гжиров Р.И., Серебrenицкий П.П. Программирование обработки на станках с ЧПУ: Справочник. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1990. – 588 с.; ил.
14. Гормаков А.Н. Технология приборостроения: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 1999. – 240 с.

15. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н. Оборудование и технология лазерной обработки материалов. Учеб. для ПТУ. – М.: Высш. шк., 1990. – 159 с.; ил.
16. Должиков В.П. Основы программирования и наладки станков с ЧПУ: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2001. – 112 с.
17. Дорнование глубоких отверстий малого диаметра / Скворцов В.Ф., Арляпов А.Ю. – Томск. 2002. – 54 с. – Библиогр.: 31 назв. – Рус. – Деп. В ВИНТИ 08.04.02, № 637-В2002.
18. Егоров М.Е. и др. Технология машиностроения: Учебник для вузов. / Изд. 2-е, доп. – М.: Высш. школа, 1976. – 534 с.; ил.
19. Егоров Ю.П., Лозинский Ю. М., Роот Р.В., Хворова И.А. Материаловедение: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 1999. – 160 с.
20. Захаров В.А., Чистоклетов А.С. Токарь: Учеб. пособие для проф. обучения рабочих на производстве. – М.: Машиностроение, 1989. – 272 с.; ил.
21. Ильицкий В.Б., Микитянский В.В., Сердюк Л.М. Станочные приспособления. Конструкторско-технологическое обеспечение эксплуатационных свойств. – М.: Машиностроение, 1989. – 208 с.; ил.
22. Ковшов А.Н. Технология машиностроения: Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов. – М.: Машиностроение, 1987. – 320 с.; ил.
23. Кожевников Д.В., Кирсанов С.В. Основы расчета зуборезных инструментов: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2001. – 97 с.
24. Колесов И.М. Основы технологии машиностроения: Учеб. для машиностроит. спец. вузов. / 2-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 1999. – 591 с.; ил.
25. Корсаков В.С. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов. – М.: Высш. школа, 1974. – 336 с.
26. Котлер Ф. Маркетинг в третьем тысячелетии: Как создать, завоевать и удержать рынок. – М.: ООО "Издательство АСТ", 2001. – 272 с.
27. Крайер Э. Успешная сертификация на соответствие нормам ИСО серии 9000. Руководство по подготовке и проведению сертификации; дальнейшие шаги / Издание второе, исправленное и дополненное. – М.: Издат, 1999. – 554 с.
28. Кутин А.А. Повышение конкурентоспособности технологического оборудования методами CALS-технологий // СТИН. – 2000. – № 9. – С. 5 – 9.
29. Лавров М. GeMMa-3D и LOM-технология // САПР и графика. – 2002. – № 9. – С. 8 – 9.

30. Лысак В.И., Кузьмин С.В. Классификация технологических схем сварки металлов взрывом // Технология машиностроения. – 2003. – № 2. – С. 23 – 28.
31. Макаров А.Д. Оптимизация процессов резания. – М.: Машиностроение, 1976. – 278 с.
32. Мартынов А.К., Лившиц В.И. Автоматизация мелкосерийного производства на базе станков с ЧПУ. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1984. – 230 с.
33. Маталин А.А. Технология машиностроения: Учебник для машиностроительных вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты». – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. – 496 с., ил.
34. Металлорежущие инструменты: Учебник для вузов по специальностям «Технология машиностроения», «Металлорежущие станки и инструменты» / Г.Н. Сахаров, О.Б. Арбузов, Ю.Л. Боровой и др. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.; ил.
35. Мосталыгин Г.П., Толмачевский Н.Н. Технология машиностроения: Учебник для вузов по инженерно-экономическим специальностям. – М.: Машиностроение, 1980– 288 с.; ил.
36. Обработка металлов резанием: Справочник технолога / А.А. Панов, В.В. Аникин, Н.Г. Бойм и др.; под общ. ред. А.А. Панова. – М.: Машиностроение, 1988. – 736 с.; ил.
37. Окрепилов В.В. Управление качеством: Учебник для вузов / 2-е изд., доп. и перераб. – М.: ОАО «Изд-во «Экономика», 1998. – 639 с.
38. Орлов В.Н. Технология изготовления деталей транспортных машин: Учеб. пособие. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2000. – 262 с.
39. Палей М.М. и др. Технология шлифования и заточки режущего инструмента / Палей М.М., Дибнер Л.Г., Флид М.Д. // Б-ка инструментальщика. – М.: Машиностроение, 1988. – 288 с.; ил.
40. Панченко В.Я., Васильцов В.В. и др. Применение лазерной технологии для улучшения качества рабочих поверхностей штампового инструмента // Технология машиностроения. – 2003. – №2. – С.18 – 22.
41. Петрушин С.И., Даниленко Б.Д., Ретюнский О.Ю. Оптимизация свойств материала в композиционной режущей части лезвийных инструментов: Учеб. пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 1999. – 99 с.
42. Полетика М.Ф. Теория резания. Часть I. Механика процесса резания: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2001. – 202 с.
43. Попов М.А., Данилов И.И. Смазочно-охлаждающая жидкость «АКТО» для обработки заготовок из нержавеющей и жаропроч-

ных статей // Известия вузов. Машиностроение. – 2002. – № 7. – с. 67 – 70.

44. Проектирование технологии: Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / И.М. Баранчукова, А.А. Гусев, Ю.Б. Крамаренко и др.; под общ. ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Машиностроение, 1990. – 416 с.; ил.

45. Путинцев А.П. Практическое пособие дипломнику и заводскому технологу машиностроительной специальности. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1992. – 128 с.

46. Размерный анализ технологических процессов/ В.В. Матвеев, М.М. Тверской, Ф.И. Бойков и др. // Б-ка технолога. – М.: Машиностроение, 1982. – 264 с.; ил.

47. Рогов В.А., Утомирская Л.А., Чудаков А.Д. Основы высоких технологий: Учебное пособие. – М.: Вузовская книга, 2001. – 256 с.

48. Соломенцев Ю.М. Концепция, стратегия и технологии CALS // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2002. – № 4. – С. 4 – 5.

49. Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев, Г.В. Филипов, Н.А. Шевченко и др.; под общ. ред. И.А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1987. – 846 с.; ил.

50. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.1 / под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. // 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 656 с.; ил.

51. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2 / под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова // 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.; ил.

52. Суслов А.Г. Обеспечение качества поверхности и эксплуатационных свойств деталей // СТИН. – 2002. – № 2. – С. 3 – 5.

53. Терещенко В.М. Маркетинг: новые технологии в России. – СПб: Питер, 2001. – 416 с.

54. Терликова Т.Ф., Мельников А.С., Баталов В.В. Основы конструирования приспособлений: Учеб. пособие для вузов. – М.: Машиностроение, 1980. – 119 с.

55. Технологическая подготовка гибких производственных систем / С.П. Митрофанов, Д.Д. Куликов, О.Н. Миляев, Б.С. Падун; под общ. ред. С.П. Митрофанова. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – 352 с.; ил.

56. Технологические процессы машиностроительного производства: Учебное пособие. В 2-х ч. Часть 1 / К.Г. Герасимович, Ю.А. Евтюшкин, Н.И. Фомин, И.А. Хворова. – Томск: Изд. ТПУ, 1999. – 104 с.

57. Технологические процессы машиностроительного производства: Учебное пособие. В 2-х ч. Часть 2 / К.Г. Герасимович, Ю.А. Евтюшкин, Н.И. Фомин, И.А. Хворова. – Томск: Изд. ТПУ, 1999. – 138 с.
58. Технология конструкционных материалов: Учебник для машиностроительных специальностей вузов / А.М. Дальский, И.А. Арутюнова, Т.М. Барсукова и др. // под общ. ред. А.М. Дальского. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 448 с.; ил.
59. Технология машиностроения: Учебник для вузов. В 2-х т. Т.1. Основы технологии машиностроения / В.М. Бурцев, А.С. Васильев, А.М. Дальский и др.; под ред. А.М. Дальского. 2-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 54 с.; ил.
60. Технология машиностроения (специальная часть): Учебник для машиностроительных специальностей вузов / А.А. Гусев, Е.Р. Ковальчук, И.М. Колесов и др. – М.: Машиностроение, 1986. – 480 с.; ил.
61. Трент Е.М. Резание металлов / Пер. с англ. Г.И. Айзенштока. – М.: Машиностроение, 1980. – 263 с.; ил.
62. Черпаков Б.И., Иванов Г.М., Свешников В.К. Установки и комплексы для водоструйного резания // СТИН. – 2001. – № 3. – С. 31–36.
63. Черпаков Б.И. Тенденции развития мирового станкостроения // СТИН. – 2001. – № 4. – С. 3–8.
64. Шарин Ю.С. Технологическое обеспечение станков с ЧПУ. – М.: Машиностроение, 1986. – 172 с.

Содержание

Предисловие.....	3
I. Заготовительные операции механообрабатывающего производства.....	4
1.1. Классификация заготовительных производств.....	4
1.2. Прокат.....	5
1.3. Ковка.....	8
1.4. Холодная штамповка.....	9
1.5. Горячая объемная штамповка.....	12
1.6. Волочение.....	13
1.7. Литье.....	13
1.8. Сварка.....	22
1.9. Порошковая металлургия.....	33
1.10. Склеивание.....	38
II. Операции механообрабатывающего производства.....	41
2.1. Характеристика мелкосерийного производства.....	41
2.2. Технологическая подготовка производства.....	42
2.3. Механообработка.....	43
2.4. Лезвийная обработка наружных цилиндрических поверхностей..	58
2.4.1. Точение на токарных станках.....	59
2.4.2. Обработка на автоматах фасонно-продольного точения...	61
2.4.3. Обработка на токарно-револьверных автоматах.....	63
2.4.4. Фрезерование наружных цилиндрических поверхностей..	64
2.5. Шлифование наружных цилиндрических поверхностей.....	64
2.6. Получение отверстий в заготовках.....	67
2.6.1. Получение неглубоких отверстий.....	69
2.6.2. Шлифование внутренних поверхностей.....	73
2.6.3. Методы получения глубоких отверстий	74
2.7. Методы обработки резьбовых поверхностей.....	80
2.7.1. Нарезание резьбы.....	81
2.7.2. Накатывание резьбы.....	82
2.7.3. Шлифование резьбы.....	83
2.8. Обработка плоскостей.....	84
2.8.1. Фрезерование.....	85
2.8.2. Строгание.....	90
2.8.3. Плоское шлифование.....	90
2.9. Обработка зубьев зубчатых колес.....	92
2.9.1. Метод копирования.....	92
2.9.2. Метод обкатки.....	94
2.9.3. Чистовая обработка зубьев.....	96

2.10. Обработка шпоночных пазов.....	97
2.11. Обработка шлицев.....	98
2.12. Особенности обработки заготовок на станках с ЧПУ.....	99
2.13. Обработка сложных криволинейных поверхностей.....	103
2.14. Слесарные операции.....	106
2.15. Отделочные операции.....	107
2.15.1. Хонингование.....	107
2.15.2. Суперфиниширование.....	108
2.15.3. Доводка	108
2.15.4. Полирование.....	113
2.16. Смазочно-охлаждающие жидкости при обработке резанием.....	114
2.17. Резание струей воды.....	118
2.18. Электрофизические и электрохимические методы обработки...	119
2.18.1. Электроэрозионная обработка.....	119
2.18.2. Электрохимическая обработка.....	122
2.18.3. Электроалмазное шлифование.....	124
2.18.4. Лазерная обработка.....	124
2.18.5. Электронно-лучевая обработка.....	126
2.18.6. Плазменная обработка.....	127
2.19. Ультразвуковая обработка.....	128
2.20. Термическая и термохимическая операции в техпроцессе механической обработки.....	129
2.21. Стабилизация размеров.....	131
2.22. Промывочные операции.....	134
2.23. Покрытия.....	135
2.24. Межоперационная консервация, хранение, транспортирование.....	144
2.25. Консервация.....	146
2.26. Контрольные операции.....	150
2.26.1. Технологические параметры точности обработки.....	150
2.26.2. Классификация средств измерения.....	153
2.26.3. Методы и средства контроля.....	154
2.27. Нормирование.....	164
2.28. Унификация технологических процессов.....	168
2.28.1. Типизация технологических процессов.....	168
2.28.2. Групповая технология	170
III. Разработка технологических процессов.....	174
3.1. Принципы построения технологических процессов.....	174
3.2. Порядок разработки технологических процессов.....	178
3.3. Последовательность операций в технологическом процессе.....	179
3.4. Анализ чертежа детали.....	190

3.5. Анализ технологичности конструкции детали.....	191
3.6. Выбор заготовки и метода ее получения.....	194
3.7. Расчет припусков.....	197
3.8. Оборудование и технологическая оснастка.....	201
3.9. Базирование заготовок на станке.....	207
3.9.1. Базирование заготовок при токарной обработке.....	207
3.9.2. Базирование заготовок при фрезерной обработке.....	212
3.10. Назначение режимов резания.....	213
3.11. Формирование эксплуатационных свойств деталей.....	227
3.12. Выбор маршрута обработки в зависимости от технологи- ческих и конструктивных особенностей заготовки и детали...233	
3.12.1. Технологический процесс изготовления детали «Вкладыш».....	233
3.12.2. Технологический процесс изготовления детали «Стойка».....	236
3.12.3. Технологический процесс изготовления детали «Болт».....	238
3.12.4. Технологический процесс изготовления детали «Втулка».....	240
3.12.5. Технология изготовления конической втулки.....	243
3.12.6. Технология изготовления детали «Рычаг».....	244
3.13. Выбор маршрута обработки в зависимости от возможностей..... оборудования и инструмента.....	248
3.14. Последовательность обработки поверхностей при наличии допусков их взаимного расположения	250
3.15. Размерный анализ технологических процессов.....	257
3.16. Применение CAD/CAM систем для проектирования технологических процессов.....	260
3.17. CALS-технологии в механообработке.....	266
3.18. Высокоскоростная механообработка.....	270
3.19. Технология быстрого прототипирования	276
3.20. Обеспечение производства продукции заданного качества.....	278
3.20.1. Этап конструкторской подготовки производства.....	279
3.20.2. Этап технологической подготовки производства.....	279
3.20.3. Этап производства.....	280
3.20.4. Сертификация качества выпускаемой продукции	280
3.21. Эффективность технологий в рыночных отношениях.....	291
3.22. Технологическая документация.....	294
IV. Тенденции развития технологии механообрабатывающего производства.....	304
Список литературы.....	316

Должиков Валерий Петрович

Разработка технологических процессов
механообработки в мелкосерийном производстве

Учебное пособие

Научный редактор
доктор технических наук, профессор А.К. Мартынов

Редакторы: Р.Д. Игнатова
О.Н. Свинцова

Подписано к печати 23.09.03.
Формат 60x84/16. Бумага офсетная.
Печать RISO. Усл. печ. л. 18,93. Уч.- изд. л. 17.
Тираж 270 экз. Заказ . Цена С. 27.
Издательство ТПУ. 634050, Томск, пр. Ленина, 30.