

А.Г.Косилова.
Р.К.Мещеряков, М.А.Калинин

ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ,
ЗАГОТОВКИ И ПРИПУСКИ
В МАШИНОСТРОЕНИИ

СПРАВОЧНИК

А. Г. КОСИЛОВА, Р. К. МЕЩЕРЯКОВ, М. А. КАЛИНИН

ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ, ЗАГОТОВКИ И ПРИПУСКИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

СПРАВОЧНИК ТЕХНОЛОГА



Москва
«МАШИНОСТРОЕНИЕ»
1976

~~6П5.1~~

~~К71~~

~~УДК 621.91 + 621.753.1 (031)~~

Косилова А. Г., Мещеряков Р. К., Калинин М. А.

К71 Точность обработки, заготовки и припуски в машиностроении. Справочник технолога. М., «Машиностроение», 1976.

288 с. с ил.

Справочник содержит сведения, необходимые технологу-машиностроителю при проектировании и расчете технологических процессов механической обработки деталей. Приведены данные по точности различных методов получения заготовок, обработки их на станках, агрегатных станках и автоматических линиях. Рассмотрена методика расчета ожидаемой погрешности обработки.

Справочник предназначен для инженеров-технологов заводов и проектно-конструкторских организаций. Он может быть полезен студентам вузов при разработке курсовых и дипломных проектов.

К $\frac{31207-049}{038 (01)-76}$ 49-76

6П5.1

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	4
Глава I. Точность обработки деталей машин	5
Основные понятия	5
Требования точности	7
Таблицы точности обработки	16
Расчет точности обработки	33
Анализ и определение элементарных погрешностей обработки	47
Контроль точности технологических процессов	117
Точность обработки на агрегатных станках и автоматических линиях	122
Глава II. Заготовки деталей машин	141
Общие положения	141
Отливки	142
Сварно-литые заготовки	154
Заготовки из сортового и специального проката	154
Поковки	162
Глава III. Припуски на механическую обработку	174
Общие положения	174
Расчетно-аналитический метод определения припусков	174
Табличные значения общих припусков на механическую обработку	203
Промежуточные припуски на механическую обработку	254
Примеры расчета припусков расчетно-аналитическим методом	268
Примеры назначения припусков и допусков по ГОСТам	277
К вопросу о совершенствовании методики расчета припусков на обработку	279
Список литературы	283
Предметный указатель	285

ПРЕДИСЛОВИЕ

При разработке технологических процессов обработки деталей машин технологически необходимы справочные материалы по точности механической обработки, точности заготовок, промежуточным и общим припускам на обработку.

В 1972 г. был выпущен 1-й том «Справочника технолога-машиностроителя». Из полученных издательством писем от промышленных организаций, учебных заведений и отдельных читателей была выявлена наиболее острая потребность в материале, содержащемся в первых трех главах («Точность обработки деталей машин», «Заготовки для деталей машин», «Припуски на механическую обработку»). В связи с этим издан настоящий справочник, основное содержание которого и составляют названные главы.

Однако быстрое развитие теории и практики технологии машиностроения вызвало необходимость коренной переработки ранее опубликованных материалов, внесения изменений и дополнений. Большая часть материалов опубликована впервые.

Наряду с обновлением опытных данных по точности обработки и припускам на обработку в справочнике представлены более широко основы расчетно-аналитического метода решения задач по точности производства и определению припусков, дан более полный и глубокий анализ элементарных погрешностей обработки, рассмотрены методы их определения с учетом динамических и других сложных явлений процесса обработки. Особое значение имеет точность обработки в автоматизированном производстве, поэтому в справочнике разобраны специфические условия точностных расчетов для операций обработки на автоматических линиях и агрегатных станках.

В справочнике приведены новые данные по оценке точности и стабильности технологических процессов и операций, основанные на изучении закономерностей их протекания и привлечении математических методов. Приведенный расчет технологических процессов на точность указывает подход к этому важному вопросу и направление прогрессивных решений, хотя и не охватывает всех возможных в практике работы технолога случаев. Более полно представлены материалы по определению общих припусков и допусков на ковки, получаемые ковкой на молотах и прессах и штамповкой, на отливки из черных, цветных металлов и сплавов. Приведены подробные примеры определения припусков расчетно-аналитическим методом и по ГОСТам.

Все замечания, предложения и пожелания по справочнику направлять по адресу: 107885, Москва, Б-78, 1-й Басманный пер., дом 3, издательство «Машиностроение».

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Важнейшим и обязательным требованием современного производства является систематическое повышение качества изделий при выполнении заданий по объему выпуска и высокой производительности труда. Качество изготавливаемой продукции будет высоким при высоком качестве модели продукции и высоком качестве ее изготовления.

Качество изготовления продукции определяется совокупностью свойств процесса ее изготовления, соответствием этого процесса и его результатов установленным требованиям. Основными производственными факторами являются качество оборудования и инструмента, физико-химические, механические и другие свойства исходных материалов и заготовок, совершенство разработанного технологического процесса и качество выполнения обработки и контроля.

При управлении качеством продукции в производстве и оценке его стабильности используют статистические методы, установленные ГОСТ 15895—70 и 16949—71.

В машиностроении показатели качества изделий тесно связаны с точностью обработки деталей машин. Полученные при обработке размер, форма и взаимное расположение элементарных поверхностей определяют фактические зазоры и натяги в соединениях деталей машин, а следовательно, технические параметры продукции, определяющие ее качество, например мощность, производительность и точность станков, надежность и экономические показатели производства и эксплуатации. С помощью показателя однородности продукции дается количественная характеристика рассеивания параметров или показателей качества продукции данного вида, т. е. оценивается точность. Отсюда очевидна взаимосвязь проблемы повышения качества продукции с задачей увеличения точности обработки деталей машин.

Большое значение имеет коэффициент запаса точности [34], характеризующий резервы точности при обработке.

Предельно допустимые допуски на функциональные размеры $\delta_{\text{ф}}$ и посадки $\delta\Delta_{\text{ф}}$ обеспечивают сохранение эксплуатационных показателей в заданных значениях.

Функциональные допуски охватывают эксплуатационный допуск $\delta_{\text{экс}}$, $\delta\Delta_{\text{экс}}$, необходимый для сохранения в процессе эксплуатации требуемого уровня показателей, и конструкторский допуск $\delta_{\text{к}}$, $\delta\Delta_{\text{к}}$ на компенсацию погрешностей изготовления деталей $\Delta_{\text{изг}}$, сборки изделий $\Delta_{\text{сб}}$ и прочих $\Delta_{\text{пр}}$ (старения и др.) погрешностей.

Таким образом, имеем для функционального допуска несопрягаемых поверхностей

$$\delta_{\text{ф}} = \delta_{\text{экс}} + \delta_{\text{к}}, \quad \delta_{\text{к}} = (\Delta_{\text{изг}} + \Delta_{\text{пр}})_{\text{доп}}$$

и для функционального допуска посадки с зазором

$$\delta\Delta_{\text{ф}} = \delta\Delta_{\text{экс}} + \delta\Delta_{\text{к}}; \quad \delta\Delta_{\text{к}} = (\Delta_{\text{изг}} + \Delta_{\text{сб}} + \Delta_{\text{пр}})_{\text{доп}}$$

Коэффициент запаса точности

$$K_{\tau} = \frac{\delta_{\text{ф}}}{\delta_{\text{к}}}; \quad K_{\tau} = \frac{\delta\Delta_{\text{ф}}}{\delta\Delta_{\text{к}}}$$

Под погрешностью обработки понимают отклонение полученного при обработке значения геометрического или другого параметра от заданного. Абсолютную погрешность выражают в единицах рассматриваемого параметра: $\Delta X = X_d - X_n$, где X_d и X_n — соответственно действительное (полученное) и номинальное (заданное) значения параметра. При несимметричном расположении поля допуска относительно номинального значения вместо номинального значения параметра принимают среднее значение. Например, при $40_{+0,17}^{+0,06}$ заданное значение параметра равно 40,115. Отношение абсолютной погрешности к заданному значению параметра называют относительной погрешностью или коэффициентом точности относительно номинального значения параметра $K_{т.н}$:

$$K_{т.н} = \frac{\Delta X}{X_n} \quad \text{или} \quad K_{т.н} = \frac{\Delta X}{X_n} 100\%.$$

Точность обработки является характеристикой качества изготовления продукции, отражает близость полученных результатов к заданным значениям параметров детали. Количественно точность характеризуется обратной величиной модуля относительной погрешности $\left| \frac{\Delta X}{X_n} \right|^{-1}$.

Различают три вида погрешностей: промахи, случайные и систематические погрешности.

Пр о м а х — погрешность, являющаяся результатом низкой квалификации лица, производящего обработку или измерения, а также неожиданных сильных внешних воздействий. Промахи должны быть исключены из анализа.

С л у ч а й н а я п о г р е ш н о с т ь — погрешность изготовления продукции, которая при одних и тех же заданных условиях принимает различные значения по модулю и знаку.

С и с т е м а т и ч е с к а я п о г р е ш н о с т ь — погрешность изготовления продукции, которая при одних и тех же заданных условиях принимает по модулю и знаку одно и то же (постоянная погрешность) или закономерно изменяющееся значение (переменная погрешность).

Такая классификация является условной [31]. К систематическим погрешностям относят усредненные значения, например изменение размерного износа с течением времени. Эти погрешности носят характер случайных функций, если рассматривать обработку на разных станках, разным инструментом и т. д. Только для обработки с одной настройки на одном станке эта погрешность (реализация случайной функции) может рассматриваться как неслучайная функция — систематическая погрешность. В общем же случае из-за колебания механических свойств материала инструмента, детали и из-за изменения других параметров обработки возникает не одна реализация (кривая износа), а целое семейство реализаций (кривых износа). Для характеристики подобных погрешностей можно пользоваться термином «случайные функциональные погрешности», понимая под этим, что указанные погрешности изменяются в функции от времени или другого параметра.

Точность обработки выражают одним из следующих способов: интервалом, в котором с установленной вероятностью находится суммарная погрешность обработки или систематическая составляющая погрешности; стандартной аппроксимацией функции распределения и средним квадратическим отклонением случайной составляющей погрешности обработки; стандартными аппроксимациями функций распределения систематической и случайной составляющих погрешности обработки и их средними квадратическими отклонениями, функциями распределения систематической и случайной составляющих погрешностей.

Для непрерывных производств особенно важно создание статистически управляемых технологических процессов, при которых обязательное соблюдение технологических допусков для операций процесса гарантирует обеспечение допуска

на окончательно обработанную деталь по всем признакам качества (точности размера, формы, положения поверхностей, геометрии и др.).

При статистически управляемых технологических операциях точность обработки определяется настройкой оборудования, а известные точностные характеристики и присущие операции закономерности протекания процесса во времени позволяют регулировать процесс в ходе производства. Во многих случаях в действующем производстве технологические процессы не являются статистически управляемыми, поэтому кроме контроля готовых изделий необходим контроль точности технологических процессов, и на основе выявленных отклонений — регулирование процессов.

В условиях серийного и массового производства контроль точности технологических процессов выполняют по ГОСТ 16.305—74, а в условиях единичного и мелкосерийного производства — по ГОСТ 16.306—74; общие требования к управлению технологическими процессами и контролю их точности установлены в ГОСТ 16.304—74.

При контроле точности технологических процессов (ГОСТ 16.304—74) показателями точности являются: действительное отклонение ΔX параметра, коэффициенты точности относительно номинального значения параметра $K_{т.н}$, а также коэффициенты $K_{т.д}$, $K_{т.тех}$, K_B и др. Коэффициент точности относительно поля допуска $K_{т.д}$, установленного для параметра, равен отношению погрешности параметра Δ к величине поля допуска $\Delta_{п}$:

$$K_{т.д} = \frac{\Delta}{\Delta_{п}}, \text{ или } K_{т.д} = \frac{\Delta}{\Delta_{п}} 100\%.$$

Коэффициент точности $K_{т.тех}$ равен отношению среднего квадратического отклонения параметра технологического процесса $\sigma_{тех}$ к величине его поля допуска $\Delta_{п}$:

$$K_{т.тех} = \frac{\sigma_{тех}}{\Delta_{п}}.$$

Коэффициент вариации K_B определяется как отношение среднего квадратического отклонения параметра технологического процесса $\sigma_{тех}$ к его среднему значению \bar{x} :

$$K_B = \frac{\sigma_{тех}}{\bar{x}}.$$

ТРЕБОВАНИЯ ТОЧНОСТИ

Конструкторские допуски и технические требования на изготовление деталей назначают с учетом условий работы деталей машин. Эти требования обеспечиваются финишной обработкой. Однако важно соблюдение технологического регламента изготовления деталей и на всех предшествующих переходах обработки, так как наблюдается технологическое наследование погрешностей предшествующей обработки [8, 35].

Предельные значения отклонений формы и расположения цилиндрических и плоских поверхностей регламентируются ГОСТ 10356—63 (табл. 1, 2).

При отсутствии указаний о предельных отклонениях формы и расположения поверхностей эти отклонения ограничиваются полем допуска на размер. Однако отклонения формы и расположения поверхностей и в этом случае рекомендуется ограничить некоторой частью от допуска размера с тем, чтобы исключить возможность появления брака по размеру. Последний возможен при наибольших величинах отклонений формы и расположения, когда есть составляющие погрешности размера, например погрешность настройки на размер, износ инструмента и др.

В табл. 3 и 4 приведены предельные отклонения формы цилиндрических и плоских поверхностей, а в табл. 5 — предельные отклонения расположения в зависимости от допусков на размеры.

1. Предельные отклонения формы и расположения плоских поверхностей, мкм

Интервалы номинальных размеров, мм для отклонений		Степени точности															
		А	Б	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
До 10	25	0,25	0,4	0,6	1	1,6	1,6	2,5	2,5	4	6	10	16	16	25	40	60
Св. 10	до 25	0,4	0,6	1	1,6	2,5	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250
» 25	» 60	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600
» 60	» 160	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000
» 160	» 400	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000	1600
» 400	» 1000	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000	1600	2500
» 1000	» 2500	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000	1600	2500	
» 2500	» 6300	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000	1600	2500		
» 6300	» 10 000	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000	1600	2500			
» 10 000	» 63 000	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000	1600	2500				

Примечания: А — предельные отклонения от плоскостности и прямолинейности; Б — предельные отклонения от параллельности, перпендикулярности и предельные значения торцового биения.

2. Под номинальным размером понимается длина, на которой задается предельное отклонение от параллельности и перпендикулярности, или диаметр, на котором задается предельное торцовое биение.

3. При отсутствии указаний о предельных отклонениях от параллельности эти отклонения ограничиваются полем допуска на расстояние между поверхностями, их осями или плоскостями симметрии.

4. Допускается нормирование плоскостности числом пятен на заданной площади при контроле «на краску».

5. По ГОСТ 10356—63 установлено для предельных отклонений: от плоскостности и прямолинейности степени точности I—X, от параллельности, перпендикулярности и предельные значения торцового биения степени точности I—XII.

2. Предельные отклонения формы и расположения цилиндрических поверхностей, мкм

Интервалы номинальных диаметров, мм для отклонений		Степени точности												
		А	Б	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
До 6	До 6	0,3	0,5	0,8	1,2	1,2	2,5	2,5	3	5	8	12	20	30
	Св. 6	0,5	0,8	1,2	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	80
	» 18	0,6	1	1,2	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	80
» 18	» 18	0,8	1,2	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	80	
	» 50	1,2	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	80		
	» 120	1,6	2	3	4	6	10	16	25	40	60	80		
» 120	» 120	2	3	4	6	10	16	25	40	60	80			
	» 260	3	4	6	10	16	25	40	60	80				
	» 500	4	6	10	16	25	40	60	80					

Ил. продолжение табл. 2

Интервалы номинальных диаметров, мм для отклонений		Степени точности											
А		Б		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Св. 6 до 18	» 500	» 800	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	
» 18 » 50	» 800	» 1250	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	
» 50 » 120	» 1250	» 2000	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	
» 120 » 260			3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	
» 260 » 500			4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	
» 500 » 800			5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	
» 800 » 1250			6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	
» 1250 » 2000			8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	

П р и м е ч а н и я: 1. А — предельные значения радиального биения; Б — предельные отклонения формы цилиндрических поверхностей.

2. Величины, приведенные в таблице, необходимо использовать в качестве предельных значений нецилиндричности, некруглости, отклонения профиля продольного сечения, отгранки, изогнутости. Для получения предельных значений овальности, конусообразности, бочкообразности и седлообразности и соответствующих указаний необходимо удалять с последующим округлением результаты до ближайшего предпочтительного числа, приведенного в таблице.

3. При отсутствии указаний о предельных отклонениях формы цилиндрических поверхностей эти отклонения ограничиваются полем допуска на диаметр.

4. Для получения предельных значений несимметричности и несимметричности в случае, если они оговариваются независимым допуском, указанные величины А следует уменьшать вдвое с последующим округлением результата до ближайшего предпочтительного числа, приведенного в таблице.

5. Предельные отклонения по ГОСТ 10356—63.

3. Предельные отклонения от цилиндричности в зависимости от класса точности диаметра по БВ-РТИ-62-71, мкм

Валы	Отверстия	Геометрическая точность	Номинальные диаметры, мм																																				
			От 6	От 6	От 6	От 18	От 30	От 50	От 80	От 120	От 200	От 300	От 500	От 800	От 1250	От 2000																							
07	H ¹¹	III ¹²	0,8	1,2	1,6	2,0	2,5	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25	30	40	50	60	80	100	120	160	200	250	300	400	500	600	800	1000	1250	1600	2000			
	P	II	0,5	0,8	1	1,2	1,6	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25	30	40	50	60	80	100	120	160	200	250	300	400	500	600	800	1000	1250	1600	2000	
	B	I	0,3	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,6	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25	30	40	50	60	80	100	120	160	200	250	300	400	500	600	800	1000	1250	1600

¹¹ Относительная

¹² Степень точности по ГОСТ 10356—63.

Продолжение табл. 3

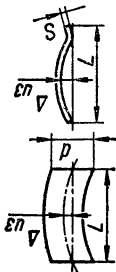
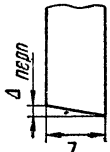
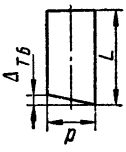
Классы точности и посадки		Геометрическая точность	Номинальные диаметры, мм									
Валы	Отверстия		О Д0 6	Св. Д0 6	Св. Д0 18	Св. Д0 50	Св. Д0 120	Св. Д0 250	Св. Д0 500	Св. Д0 800	Св. Д0 1250	Св. Д0 2000
08		Н	1,0	2,0	2,5	3	4	5	5	—	—	—
		П	0,8	1,2	1,6	2	2,5	3	3	—	—	—
I, кроме X ₁	09	В	0,5	0,8	1	1,2	1,6	2	2	—	—	—
		Н	2	3	4	5	6	8	8	10	12	16
X ₁ , 2, кроме Гр, X, JI, Ш, ТХ	I, кроме X ₁	П	1,2	2	2,5	3	4	5	5	6	8	10
		В	0,8	1,2	1,6	2	2,5	3	3	4	5	6
Гр, X ₁ , 2а кроме X _{2а} Гр _{2а}	X ₁ , 2, кроме Гр, X, JI, Ш	Н	3	5	6	8	10	12	12	16	20	25
		П	2	3	4	5	6	8	8	10	12	16
Л, Ш, ТХ, X _{2а} , Пр _{2а}	Гр, X, 2а	В	1,2	2	2,5	3	4	5	5	6	8	10
		Н	5	8	10	12	16	20	20	25	30	40
3, кроме Ш ₃	Л, Ш, А ₃ = С ₃ , X ₃ , кроме Ш ₃	П	3	5	6	8	10	12	12	16	20	25
		В	2	3	4	5	6	8	8	10	12	16
Ш ₃ , 3а	4	Н	8	12	16	20	25	30	30	40	50	60
		П	5	8	10	12	16	20	20	25	30	40
		В	12	20	25	30	40	50	50	60	80	100
		Н	20	30	40	50	60	80	80	100	120	160
		П	12	20	25	30	40	50	50	60	80	100
		В	8	12	16	20	25	30	30	40	50	60
		Н	30	50	60	80	100	120	120	160	200	250
		П	20	30	40	50	60	80	80	100	120	160
		В	12	20	25	30	40	50	50	60	80	100
		Н	12	20	25	30	40	50	50	60	80	100

4. Предельные отклонения от плоскости, прямолинейности, параллельности в зависимости от допуска размера между поверхностями по БВ-РТМ-62-71, мкм

Размер между рассматриваемыми поверхностями, мм	Относительная геометрическая точность		
	Нормальная	Повышенная	Высокая
От 3 до 5	2,5	1,6	1,0
Св. 5 до 8	4,0	2,5	1,6
» 8 » 12	6,0	4,0	2,5
» 12 » 20	10,0	6,0	4,0
» 20 » 30	16,0	10,0	6,0
» 30 » 50	25,0	16,0	10,0
» 50 » 80	40,0	25,0	16,0
» 80 » 120	60,0	40,0	25,0
Св. 120 до 200	100,0	60,0	40,0
» 200 » 300	160,0	100,0	60,0
» 300 » 500	250,0	160,0	100,0
» 500 » 800	400,0	250,0	160,0
» 800 » 1200	600,0	400,0	250,0
» 1200 » 2000	1000,0	600,0	400,0
» 2000 » 3000	1600,0	1000,0	600,0

П р и м е ч а н и е. Соответствие предельных отклонений степени точности по ГОСТ 10356—63 определяют после отнесения отклонений к тому интервалу номинальных размеров, в который попадает номинальная длина данной поверхности. Например, предельное отклонение от плоскости 10 мкм при длине 100 мм соответствует VI степени точности ГОСТ 10356—63, а при длине 300 мм — V степени точности.

5. Предельные отклонения расположения в зависимости от классов точности размеров по БВ-РТМ-92—71, МЕМ

Эскиз	Классы точности	Номинальные размеры L , d , d_6 , B_6 , мм										Степень точности				
		До 10	Св. 10 До 25	Св. 25 До 60	Св. 60 До 160	Св. 160 До 400	Св. 400 До 1000	Св. 1000 До 2500	Св. 2500 До 6300	Св. 6300 До 10 000	До 10 000					
<p>Предельная изгибность $\Delta_{из}$</p> 	<p>Для размеров d или s до 5 7—10</p>	25	40	60	100	160	250	400	600	1000	1600	2500	4000	6000	10 000	XI* XIII*
<p>Предельные отклонения от перпендикулярности $\Delta_{перп}$</p> 	<p>Для «больших» допусков угловых размеров: 9 10** грубее 10**</p>	60	100	160	250	400	600	1000	1600	2500	4000	6000	10 000	2 500	6 000	XII* XIV* XVI*
<p>Предельные величины торцового биения $\Delta_{т.б}$</p> 	<p>Для размера L, координирующего гребня: до 8 7—8 9—10</p>	25	40	60	100	160	250	400	600	1000	1600	2500	4000	6000	10 000	X XI* XIII*

Продолжение табл. 5

Эскиз	Классы точности	Номинальные размеры $L, d, d_6; B_6, мм$										Степень точности																																			
		До 10	До 25	До 50	До 100	До 160	До 400	До 1000	До 2500	До 6300	До 10 000																																				
<p>Предельные отклонения от соосности Δ_c или пересечения осей $\Delta_{пересеч}$</p>	<p>Для диаметров: до 5 7-8 9-10</p>	40	50	60	80	100	120	160	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1600	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000	X	XII*	XIV**																		
		100	120	160	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1600	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000	12000	16000	20000	25000	30000	XIII*	XIV**	XV*	XVI*																
		250	300	400	500	600	800	1000	1200	1600	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000	12000	16000	20000	25000	30000	40000	50000	60000	80000	100000	XIII*	XIV**	XV*	XVI*															
<p>Предельные отклонения от симметричности $\Delta_{сим}$</p>	<p>Для размеров рассматриваемых поверхностей: 5 7 8 9-10</p>	160	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1600	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000	12000	16000	20000	25000	30000	40000	50000	60000	80000	100000	120000	160000	200000	250000	300000	400000	500000	600000	800000	1000000							
250		300	400	500	600	800	1000	1200	1600	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000	12000	16000	20000	25000	30000	40000	50000	60000	80000	100000	120000	160000	200000	250000	300000	400000	500000	600000	800000	1000000	1200000	1600000	2000000	2500000	3000000	4000000	5000000	6000000	8000000	10000000
400		500	600	800	1000	1200	1600	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000	12000	16000	20000	25000	30000	40000	50000	60000	80000	100000	120000	160000	200000	250000	300000	400000	500000	600000	800000	1000000	1200000	1600000	2000000	2500000	3000000	4000000	5000000	6000000	8000000	10000000		

Примечания: 1. Знаком * отмечены степени точности, полученные экстраполяцией рядов по ГОСТ 10356—63; знаком ** — степени точности по ГОСТ 8908—58.

2. $\Delta_{из}$ — наибольшие величины изогнутости цилиндрических поверхностей и призматических элементов (несопрягаемых или сопрягаемых на длину, превышающей длину соединения).

3. Предельные отклонения от перпендикулярности следует выбирать по меньшей из длин рассматриваемых поверхностей. Если данный торец связывает несколько размеров разных классов точности, то предельные значения торцового биения выбирают по более точному классу. Предельные отклонения от соосности или пересечения осей, а также от симметричности следует выбирать по более грубому классу точности и большему из размеров рассматриваемых элементов.

4. Номинальные размеры соответственно L, d, d_6 и B_6 .

При наличии у одной поверхности нескольких независимых отклонений формы возможно их неблагоприятное суммирование, поэтому для ограничения предельных величин комплексных (суммарных) погрешностей необходимо в технологической документации регламентировать величины составляющих погрешностей. Величины составляющих отклонений формы в случае замены ими комплексных отклонений назначают на одну степень точности выше, чем комплексные (табл. 6).

Шероховатость поверхности не связана общим контролем с погрешностями размеров, форм и расположения. Однако определенное соответствие шероховатости и допусков на геометрические погрешности необходимо, так как под влиянием шероховатости возникают дополнительные макрогеометрические отклонения при приложении нагрузок и износе в процессе эксплуатации и сборки (табл. 7).

6. Соответствие между степенями точности комплексных отклонений формы и заменяющих составляющих (БВ-РТМ-62—71)

Отклонения формы		Степени точности при отклонениях	
комплексные	заменяющие составляющие	комплексных	заменяющих составляющих
Нецилиндричность	Непостоянство диаметров поверхностей. Нечетная огранка. Изогнутость	II III IV	I II III
Некруглость	Непостоянство диаметров поперечного сечения. Нечетная огранка	V VI VII	IV V VI
Отклонение профиля продольного сечения	Непостоянство диаметров продольного сечения. Изогнутость	VIII IX X	VII VIII IX

7. Классы шероховатости поверхностей в зависимости от допусков размеров и формы

Классы точности		Квалитеты	Относительная геометрическая точность обработки	Классы шероховатости поверхностей по ГОСТ 2789—73 при номинальных размерах, мм			
Валы	Отверстия			До 18	Св. 18 до 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 500
07	JT3	Гр Н П	10	9	9	8	
			11	10	10	9	
			12	11	11	10	
08	JT4	Гр Н П	9	8	8	7	
			10	9	9	8	
			11	10	10	9	
1	09	Гр Н П	9	8	7	7	
			10	9	8	8	
			11	10	9	9	

Продолжение табл. 7

Классы точности		Квалитеты	Относительная геометрическая точность обработки	Классы шероховатости поверхностей по ГОСТ 2789—73 при номинальных размерах, мм			
Валы	Отверстия			До 18	Св. 18 до 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 500
2	1	JT6	Гр	8	7	7	6
			Н	9	8	8	7
			П	10	9	9	8
2a	2	JT7	Гр	7	6	6	6
			Н	8	7	7	6
			П	9	8	8	7
—	2a	JT8	Гр	7	6	6	6
			Н	8	7	6	6
			П	9	8	7	7
3		JT9	Гр, Н	6	6	5	5
			П	7	6	6	5
			В	8	7	7	6
3a		JT10	Гр, Н	6	5	5	5
			П	7	6	6	5
			В	8	7	7	6
4		JT11	Гр, Н	5	5	4	4
			П	6	6	5	5
			В	7	7	6	6
5	JT12—JT13	Гр, Н П	4	4	3	3	
			5	5	4	4	
7—8	JT14—JT15	Гр, Н П	4	3	2	2	
			4	4	3	3	
9—10	JT16—JT17	Гр, Н П	3	2	1	1	
			3	3	2	2	

Примечания: 1. По БВ-РТМ-62—71.

2. Обеспечения относительной точности. Гр — грубая (отклонения формы и расположения допускаются в пределах поля допуска размера и не оговариваются особо; классы шероховатости в этом случае устанавливаются с учетом достигнутой шероховатости поверхности); Н — нормальная, допуски геометрии составляют 60% допуска размера, $R_z \leq 0,26\delta_p$; П — повышенная — 40% и $R_z \leq 0,16\delta_p$; В — высокая — 25% и $R_z = 0,056\delta_p$ (здесь δ_p — допуск размера).

3. Если предельные отклонения формы и расположения поверхностей меньше величин, предусмотренных относительной геометрической точностью, то при заданных отклонениях формы δ_f (неплоскостности, непрямолинейности, некруглости, отклонении профиля продольного сечения) $R_z \leq 0,6\delta_f$; при заданных предельных величинах биения δ_p (радиального, торцового или по нормали к поверхности) $R_z \leq 0,4\delta_p$.

ТАБЛИЦЫ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ

Эти таблицы содержат ориентировочные данные по точности для различных методов обработки, полученные систематизацией непосредственных наблюдений за ходом операций в обычных цеховых условиях. В них приведены интервалы, в которых с вероятностью 0,9973 находится суммарная погрешность обработки рассматриваемого параметра.

Особенности выполнения отдельных операций не позволяют дать заключение о точности обработки по аналогии с другими операциями, так как между ними не бывает всестороннего сходства. В частности, отличаются размеры и форма обрабатываемых заготовок, состояние станков, режимы обработки и другие технологические факторы. Поэтому таблицы дают только общее представление о возможной точности обработки.

Каждому методу обработки соответствует определенный диапазон классов точности. Для черновых операций — это в первую очередь связано с точностью исходной заготовки, для чистовых — с условиями осуществления обработки. Точность при каждом последующем переходе обработки данной элементарной поверхности обычно повышается на 2—4 класса при обдирочной и черновой обработке и на 1—2 класса — при чистовой и отделочной обработке.

Для деталей из чугуна и цветных сплавов размеры обрабатываемых поверхностей выдерживают на один класс и степень точности выше, чем для стальных деталей, обрабатываемых в аналогичных условиях.

Данные по точности обработки и качеству поверхности при различных видах обработки и рекомендуемый инструмент для обработки отверстий приведены в табл. 8—13.

При использовании приборов и устройств для активного контроля деталей в процессе наружного и внутреннего шлифования рассеивание размеров (при номинальных значениях размеров 3—400 мм) не превышает 2—40 мкм.

Точность формы и взаимного расположения поверхностей зависит от типа оборудования, на котором обрабатывают детали, а также от метода координации инструмента (табл. 14—16).

Точность обработки на станках с системами автоматического управления упругими перемещениями может быть повышена в 2—5 раз [1].

Продолжение табл. 8

Обра- бот- ка	Класс шерохова- сти поверхности, ГОСТ 2789-73	Дефектный поверх- ностный слой, мкм	Класс точности раз- мера обработки	Технологические допуски (в мкм) на размер обработки при номинальных диаметрах поверхностей, мм										Степень точности формы, ГОСТ 10386-63						Предельные отклонения формы (в мкм) при номи- нальных диаметрах поверхности, мм					
				Св. 3 До 6	Св. 6 До 10	Св. 18 До 30	Св. 30 До 50	Св. 50 До 80	Св. 80 До 120	Св. 120 До 180	Св. 180 До 260	Св. 260 До 360	Св. 360 До 500	Св. 3 До 6	Св. 6 До 18	Св. 18 До 50	Св. 50 До 120	Св. 120 До 260	Св. 260 До 500	До 6	Св. 6 До 18	Св. 18 До 50	Св. 50 До 120	Св. 120 До 260	Св. 260 До 500
тонкое	8-10	5	2	8	10	12	14	17	20	23	27	30	35	40	VI	3	5	6	8	10	12				
				5	6	8	9	11	13	15	18	20	22	25	V	2	3	4	5	6	8				
Притир- ка, су- перфини- ш	8-10	5-3	—	3	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	IV	1,2	2	2,5	3	4	5				
				48	58	70	84	100	120	140	160	185	215	250	VII	5	8	10	12	16	20				
Обкаты- вание, калибро- вание, алмазное выгла- живание	7-11	—	2а	12	15	18	21	25	30	35	40	47	54	62	VI	3	5	6	8	10	12				
				8	10	12	14	17	20	23	27	30	35	40		2	3	4	5	6	8				
				5	6	8	9	11	13	15	18	20	22	25		V	2	3	4	5	6	8			
				1	2	3	4	5	6	8	10	12	16	20		—	—	—	—	—	—	—			

Пр и м е ч а н и я: 1. Данные таблицы относятся к деталям из стали. Для деталей из чугуна или цветных сплавов предельные отклонения по точности можно принимать на один класс и степень выше.
2. Предельные отклонения формы и размера действительны для поверхностей $1/d < 2$. При $1/d = 2 \text{--} 10$ погрешности обработки увеличивают в 1,2-2 раза.

Продолжение табл. 9

Обработка	Класс шероховатости поверхности по ГОСТ 2489-73	Дефектный слой, мкм	Класс точности размера обработки	Технологические допуски (в мкм) на размер обработки при номинальных диаметрах отверстий, мм												Степень точности по ГОСТ 10356-63	Предельные отклонения формы (в мкм) при номинальных диаметрах отверстий, мм					
				Св. 3	Св. 6	Св. 10	Св. 18	Св. 30	Св. 50	Св. 80	Св. 120	Св. 180	Св. 260	Св. 360	Св. 500		До 6	Св. 6	Св. 18	Св. 50	Св. 120	Св. 260
Шлифованье прецизионное	6	20	3	—	35	45	50	60	70	80	90	100	120	120	—	8	10	12	16	20	20	
	7-8	20-5	2a	—	27	33	39	46	54	63	73	84	95	95	—	5	6	8	10	12	12	
тонкое	8-10	5	1	—	11	13	15	18	21	24	27	30	35	35	—	2	3	4	5	6	8	
	9-12	5-3	1	8	9	11	13	15	18	21	24	27	30	35	—	2	3	4	5	6	8	
Притирка, шлифованье	—	—	—	5	6	8	9	11	13	15	18	21	24	27	IV	1,2	2	2,5	3	4	5	
	3a	—	3a	—	58	70	84	100	120	140	160	185	215	250	VII	5	8	10	12	16	20	
Раскатывание, калибрование, алмазное выглаживание	3	—	3	—	30	35	45	50	60	70	80	90	100	120	—	—	—	—	—	—	—	
	8-11	—	2a	—	22	27	33	39	46	54	63	73	84	95	VI	3	5	6	8	10	12	
ванье	2	—	2	—	16	19	23	27	30	35	40	45	50	60	—	—	—	—	—	—	—	
	1	—	1	—	9	11	13	15	18	21	24	27	30	35	V	2	3	4	5	6	8	

Примечания: 1. Данные таблицы относятся к деталям из стали. Для деталей из чугуна и цветных сплавов предельные отклонения по точности можно принимать на один класс и степень выше.
 2. Предельные отклонения формы и размера действительны для отверстий $l/d < 2$. При $l/d = 2-10$ погрешности обработки увеличивают в 1,2-2 раза.
 3. Точность обработки отверстий определяется точностью изготовления инструмента.

10. Рекомендуемый набор инстру-
Размеры

Номинальный диаметр отвер- стия	Отверстия ди-										
	2-й класс (А)										В сплошном
	В сплошном материале					Литое или горячештам- пованное					
	Сверло		Получистой зенкер	Развертка		Зенкер		Развертка		Сверло	
	первое	второе		черновая	чистовая	черновой	получисто- вой	черновая	чистовая	первое	второе
12	10,7	—	11,82	11,94	12А	—	—	—	—	10,7	—
13	11,7	—	12,82	12,94	13А	12	12,82	12,94	13А	11,7	—
14	12,7	—	13,82	13,94	14А	13	13,82	13,94	14А	12,7	—
15	13,7	—	14,82	14,94	15А	14	14,82	14,94	15А	13,7	—
16	14,25	—	15,82	15,94	16А	15	15,82	15,94	16А	14,25	—
17	15,25	—	16,82	16,94	17А	16	16,82	16,94	17А	15,25	—
18	16,25	—	17,82	17,94	18А	17	17,82	17,94	18А	16,25	—
19	16,5	—	18,75	18,93	19А	18	18,75	18,93	19А	16,5	—
20	17,5	—	19,75	19,93	20А	19	19,75	19,93	20А	17,5	—
21	18,5	—	20,75	20,93	21А	20	20,75	20,93	21А	18,5	—
22	19,5	—	21,75	21,93	22А	21	21,75	21,93	22А	19,5	—
23	20,5	—	22,75	22,98	23А	22	22,75	22,93	23А	20,5	—
24	21,5	—	23,75	23,93	24А	23	23,75	23,93	24А	21,5	—
25	22,5	—	24,75	24,93	25А	24	24,75	24,93	25А	22,5	—
26	23,5	—	25,75	25,93	26А	25	25,75	25,93	26А	23,5	—
28	25,5	—	27,75	27,93	28А	26	27,75	27,93	28А	25,5	—
30	—	27,5	29,75	29,98	30А	28	29,75	29,93	30А	—	27,5
32	—	29	31,71	31,92	32А	30	31,71	31,92	32А	—	29
34	—	31	33,71	33,92	34А	32	33,71	33,92	34А	—	31
35	—	32	34,71	34,92	35А	32	34,71	34,92	35А	—	32
36	—	33	35,71	35,92	36А	34	35,71	35,92	36А	—	33
38	—	35	37,71	37,92	38А	36	37,71	37,92	38А	—	35
40	—	37	39,71	39,92	40А	38	39,71	39,92	40А	—	37
42	—	39	41,71	41,92	42А	40	41,71	41,92	42А	—	39
44	—	20	43,71	43,92	44А	42	43,71	43,92	44А	20	41,5
45	—	42	44,71	44,92	45А	42	44,71	44,92	45А	—	42
46	—	42,8	45,71	45,92	46А	44	45,71	45,92	46А	—	42,8
48	—	45	47,71	47,92	48А	46	47,71	47,92	48А	—	45
50	—	46	49,71	49,92	50А	48	49,71	49,92	50А	—	46
52	—	48	51,65	51,91	52А	50	51,65	51,91	52А	—	48
55	—	51	54,65	54,91	55А	52	54,65	54,91	55А	—	51
58	—	54	57,65	57,91	58А	55	57,65	57,91	58А	—	54
60	—	56	59,65	59,91	60А	58	59,65	59,91	60А	—	56
62	—	58	61,65	61,91	62А	60	61,65	61,91	62А	—	58
65	—	61	64,65	64,91	65А	62	64,65	64,91	65А	—	61
68	—	63	67,65	67,91	68А	65	67,65	67,91	68А	—	63
70	—	65	69,65	69,91	70А	68	69,65	69,91	70А	—	65
72	—	68	71,65	71,91	72А	70	71,65	71,91	72А	20	68
75	—	71	74,65	74,91	75А	72	74,65	74,91	75А	—	71
78	—	72	77,65	77,91	78А	75	77,65	77,91	78А	—	72
80	—	75	79,65	79,91	80А	78	79,65	79,91	80А	—	75
82	—	—	—	—	—	80	81,58	81,90	82А	—	—
85	—	—	—	—	—	82	84,58	84,90	85А	—	—
88	—	—	—	—	—	85	87,58	87,90	88А	—	—
90	—	—	—	—	—	88	89,58	89,90	90А	—	—
92	—	—	—	—	—	90	91,58	91,90	92А	—	—
95	—	—	—	—	—	92	94,58	94,90	95А	—	—
98	—	—	—	—	—	95	97,58	97,90	98А	—	—
100	—	—	—	—	—	98	99,58	99,90	100А	—	—

Примечание. Диаметры промежуточных инструментов установлены с учетом

мента для обработки отверстий
в мм

метром 12—100 мм

3-й класс (A ₃)					4-й класс (A ₄)						5-й класс (A ₅)	
материале		Литое или горяче- штампованное			В сплошном мате- риале			Литое или го- рячештампо- ванное			В сплошном материале	
Полуцистовой зенкер	Развертка	Черновой зен- кер	Полуцистовой зенкер	Развертка	Сверло		Полуцистовой зенкер или раз- вертка	Зенкер		Сверло		
					первое	второе		черновой	цистовой	первое	второе	
11,82	12A ₃	—	—	—	10,7	—	12A ₄	—	—	12A ₅	—	
12,82	13A ₃	12	12,82	13A ₃	11,7	—	13A ₄	12	13A ₄	13A ₅	—	
13,82	14A ₃	13	13,82	14A ₃	12,7	—	14A ₄	13	14A ₄	14A ₅	—	
14,82	15A ₃	14	14,82	15A ₃	13,7	—	15A ₄	14	15A ₄	15A ₅	—	
15,82	16A ₃	15	15,82	16A ₃	14,25	—	16A ₄	15	16A ₄	16A ₅	—	
16,82	17A ₃	16	16,82	17A ₃	15,25	—	17A ₄	16	17A ₄	17A ₅	—	
17,82	18A ₃	17	17,82	18A ₃	16,25	—	18A ₄	17	18A ₄	18A ₅	—	
18,75	19A ₃	18	18,75	19A ₃	16,5	—	19A ₄	18	19A ₄	19A ₅	—	
19,75	20A ₃	19	19,75	20A ₃	17,5	—	20A ₄	19	20A ₄	20A ₅	—	
20,75	21A ₃	20	20,75	21A ₃	18,5	—	21A ₄	20	21A ₄	21A ₅	—	
21,75	22A ₃	21	21,75	22A ₃	19,5	—	22A ₄	21	22A ₄	22A ₅	—	
22,75	23A ₃	22	22,75	23A ₃	20,5	—	23A ₄	22	23A ₄	23A ₅	—	
23,75	24A ₃	23	23,75	24A ₃	21,5	—	24A ₄	23	24A ₄	24A ₅	—	
24,75	25A ₃	24	24,75	25A ₃	22,5	—	25A ₄	24	25A ₄	25A ₅	—	
25,75	26A ₃	25	25,75	26A ₃	23,5	—	26A ₄	25	26A ₄	26A ₅	—	
27,75	28A ₃	26	27,75	28A ₃	25,5	—	28A ₄	26	28A ₄	28A ₅	—	
29,75	30A ₃	28	29,75	30A ₃	—	27,5	30A ₄	28	30A ₄	30A ₅	—	
31,71	32A ₃	30	31,71	32A ₃	—	29	32A ₄	30	32A ₄	32A ₅	—	
33,71	34A ₃	32	33,71	34A ₃	—	31	34A ₄	32	34A ₄	34A ₅	—	
34,71	35A ₃	32	34,71	35A ₃	—	32	35A ₄	32	35A ₄	35A ₅	—	
35,71	36A ₃	34	35,71	36A ₃	—	33	36A ₄	34	36A ₄	36A ₅	—	
37,71	38A ₃	36	37,71	38A ₃	—	35	38A ₄	36	38A ₄	38A ₅	—	
39,71	40A ₃	38	39,71	40A ₃	—	37	40A ₄	38	40A ₄	40A ₅	—	
41,71	42A ₃	40	41,71	42A ₃	—	39	42A ₄	40	42A ₄	42A ₅	—	
43,71	44A ₃	42	43,71	44A ₃	20	41,5	44A ₄	42	44A ₄	20	44A ₅	
44,71	45A ₃	42	44,71	45A ₃	—	42	45A ₄	42	45A ₄	—	45A ₅	
45,71	46A ₃	44	45,71	46A ₃	—	42,8	46A ₄	44	46A ₄	—	46A ₅	
47,71	48A ₃	46	47,71	48A ₃	—	45	48A ₄	46	48A ₄	—	48A ₅	
49,71	50A ₃	48	49,71	50A ₃	—	46	50A ₄	48	50A ₄	—	50A ₅	
51,65	52A ₃	50	51,65	52A ₃	—	48	52A ₄	50	52A ₄	—	52A ₅	
54,65	55A ₃	52	54,65	55A ₃	—	51	55A ₄	52	55A ₄	—	55A ₅	
57,65	58A ₃	55	57,65	58A ₃	—	54	58A ₄	55	58A ₄	—	58A ₅	
59,65	60A ₃	58	59,65	60A ₃	—	56	60A ₄	58	60A ₄	—	60A ₅	
61,65	62A ₃	60	61,65	62A ₃	—	58	62A ₄	60	62A ₄	—	62A ₅	
64,65	65A ₃	62	64,65	65A ₃	—	61	65A ₄	62	65A ₄	—	65A ₅	
67,65	68A ₃	65	67,65	68A ₃	—	63	68A ₄	65	68A ₄	—	68A ₅	
69,65	70A ₃	68	69,65	70A ₃	20	65	70A ₄	68	70A ₄	20	70A ₅	
71,65	72A ₃	70	71,65	72A ₃	—	68	72A ₄	70	72A ₄	—	72A ₅	
74,65	75A ₃	72	74,65	75A ₃	—	71	75A ₄	72	75A ₄	—	75A ₅	
77,65	78A ₃	75	77,65	78A ₃	—	72	78A ₄	75	78A ₄	—	78A ₅	
79,65	80A ₃	78	79,65	80A ₃	—	75	80A ₄	78	80A ₄	—	80A ₅	
—	—	80	81,58	82A ₃	—	—	—	80	82A ₄	—	—	
—	—	82	84,58	85A ₃	—	—	—	82	85A ₄	—	—	
—	—	85	87,58	88A ₃	—	—	—	85	88A ₄	—	—	
—	—	88	89,58	90A ₃	—	—	—	88	90A ₄	—	—	
—	—	90	91,58	92A ₃	—	—	—	90	92A ₄	—	—	
—	—	92	94,58	95A ₃	—	—	—	92	95A ₄	—	—	
—	—	95	97,58	98A ₃	—	—	—	95	98A ₄	—	—	
—	—	98	99,58	100A ₃	—	—	—	98	100A ₄	—	—	

ГОСТ 885—64, 16972—72, 1677—67.

11. Точность обработки отверстий и рекомендуемый набор инструмента
 Размеры в мм
 (Отверстия диаметром 1,5—11 мм)

Номинальный диаметр отверстия	2-й класс (A)			3-й класс (A ₃)		4-й класс (A ₄)		5-й класс (A ₅)
	Сверло	Развертка		Сверло	Развертка	Сверло	Получистой зенкер, развертка	Сверло
		черновая	чистовая					
1,5	1,4	1,47	1,5A	1,4	1,5A ₃	1,4	1,5A ₄	1,5A ₅
1,8	1,7	1,77	1,8A	1,7	1,8A ₃	1,7	1,8A ₄	1,8A ₅
2,0	1,9	1,97	2A	1,9	2A ₃	1,9	2A ₄	2A ₅
2,2	2,1	2,17	2,2A	2,1	2,2A ₃	2,1	2,2A ₄	2,2A ₅
2,5	2,4	2,47	2,5A	2,4	2,5A ₃	2,4	2,5A ₄	2,5A ₅
2,8	2,7	2,77	2,8A	2,7	2,8A ₃	2,7	2,8A ₄	2,8A ₅
3,0	2,9	2,97	3A	2,9	3A ₃	2,9	3A ₄	3A ₅
3,5	3,4	3,46	3,5A	3,4	3,5A ₃	3,4	3,5A ₄	3,5A ₅
4,0	3,9	3,96	4A	3,9	4A ₃	3,9	4A ₄	4A ₅
4,5	4,2	4,46	4,5A	4,2	4,5A ₃	4,2	4,5A ₄	4,5A ₅
5	4,8	4,96	5A	4,8	5A ₃	4,8	5A ₄	5A ₅
6	5,8	5,96	6A	5,8	6A ₃	5,8	6A ₄	6A ₅
7	6,7	6,96	7A	6,7	7A ₃	6,7	7A ₄	7A ₅
8	7,8	7,95	8A	7,8	8A ₃	7,8	8A ₄	8A ₅
9	8,7	8,95	9A	8,7	9A ₃	8,7	9A ₄	9A ₅
10	9,7	9,95	10A	9,7	10A ₃	9,7	10A ₄	10A ₅
11	10,7	10,94	11A	10,7	11A ₃	10,7	11A ₄	11A ₅

12. Рекомендуемый диаметр сверл для отверстий под резьбу
 Размеры в мм

Номинальный диаметр резьбы	Шаг резьбы	Диаметр сверла		Номинальный диаметр резьбы	Шаг резьбы	Диаметр сверла	
		*	**			*	**
1	0,2	0,80	0,82	1,2	0,2	1,00	1,05
	0,25	0,75	0,80			0,95	1,00
1,1	0,2	0,90	0,92	1,4	0,2	1,00	1,25
		0,85	0,90			1,10	1,15

Продолжение табл. 12

Номиналь- ный диаметр резьбы	Шаг резьбы	Диаметр сверла		Номиналь- ный диаметр резьбы	Шаг резьбы	Диаметр сверла	
1,6	0,2 0,35	1,40	1,45	8	0,5 0,75 1 1,25	7,50 *	7,60 **
		1,25	1,30			7,25	7,30
1,8	0,2 0,35	1,60	1,65	9	0,5 0,75 1 1,25	8,50	8,60
		1,45	1,50			8,25	8,30
2	0,25 0,4	1,75	1,80	10	0,5 0,75 1 1,25 1,5	9,50	9,60
		1,60	1,65			9,25	9,30
2,2	0,25 0,45	1,95	2,00	11	0,5 0,75 1 1,5	9,00	9,10
		1,75	1,80			8,80	8,90
2,5	0,35 0,45	2,15	2,20	12	0,5 0,75 1 1,25 1,5 1,75	8,50	8,70
		2,05	2,10			10,50	10,60
3	0,35 0,5	2,65	2,70	14	0,5 0,75 1 1,25 1,5 1,75	10,25	10,30
		2,50	2,60			10,00	10,10
3,5	0,35 0,6	3,15	3,20	15	0,5 0,75 1 1,25 1,5 2	9,50	9,70
		2,90	2,95			11,50	—
4	0,5 0,7	3,50	3,60	16	0,5 0,75 1 1,25 1,5 1,75	11,25	11,30
		3,30	3,40			11,00	11,10
4,5	0,5 0,75	4,00	—	17—52	P	10,80	10,90
		3,75	3,90			10,50	10,70
5	0,5 0,8	4,50	4,60	18	0,5 0,75 1 1,25 1,5 2	10,20	10,40
		4,20	4,30			13,50	—
5,5	0,5	5,00	5,10	19	0,5 0,75 1 1,25 1,5 2	13,00	13,10
		—	—			12,80	—
6	0,5 0,75 1	5,50	5,60	20	0,5 0,75 1 1,25 1,5 2	12,50	12,70
		5,25	5,30			12,00	12,20
7	0,5 0,75 1	6,50	6,60	21	0,5 0,75 1 1,25 1,5 2	14,00	—
		6,25	6,30			14,50	14,20
7	0,5 0,75 1	6,00	6,10	22	0,5 0,75 1 1,25 1,5 2	14,00	—
		—	—			14,50	14,20
				17—52	P	d—P	—

Примечание. Данные таблицы по рекомендуемому приложению к ГОСТ 19257—73.

* Обработка отверстий в сером чугуна (ГОСТ 1412—70), сталях (ГОСТ 380—71, ГОСТ 1050—74, ГОСТ 4543—71, ГОСТ 10702—63, ГОСТ 5632—72, кроме сплавов на никелевой основе, ГОСТ 20072—74); в алюминиевых литейных сплавах (ГОСТ 2685—63); в меди (ГОСТ 859—66).

** Обработка отверстий в материалах повышенной вязкости: сплавах магния (ГОСТ 804—72), алюминия (ГОСТ 4784—74), латуни (ГОСТ 15527—70); титановых сплавах, сталях и сплавах высоколегированных, коррозионноустойчивых, жаростойких, жаропрочных на никелевой основе (ГОСТ 5632—72 и ГОСТ 20072—74).

13. Точность и качество поверх

Обработка	Класс шероховатости	Дефектный поверхностный слой, мкм	Класс точности обработки	Технологические допуски (в мкм) на размер до базовой поверхности, мм										
				До 80	Св. 80 до 180	Св. 180 до 260	Св. 260 до 500	До 80	Св. 80 до 180	Св. 180 до 260	Св. 260 до 500	До 80		
				При размерах (длина × ширина) в мм обрабатыва										
				До 160×160			Св. 160×160 до 400×400							
Фрезерование и строгание:	черновое	3—4	100—50	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	400
				4	—	—	—	—	200	260	300	380	200	
				3a	120	160	185	250	120	160	185	250	—	
				3	60	80	90	120	—	—	—	—	—	
	чистовое	5—7	50—20	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	200
				3a	—	—	—	—	120	160	185	250	120	
				3	60	80	90	120	60	80	90	120	—	
				2a	25	40	47	62	—	—	—	—	—	
	тонкое	7—8	30—10	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	60
				2a	25	40	47	62	25	40	47	62	25	
2				20	27	30	40	20	27	30	40	20		
Торцовое точение и подрезка:	черновое	2—3	100—50	7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	740
				5	400	530	600	760	400	530	600	760	—	
				4	200	260	300	380	—	—	—	—	—	
	чистовое или однократное	3—6	50—20	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	400
				4	—	—	—	—	200	260	300	380	200	
				3a	120	160	185	250	120	160	185	250	—	
				3	60	80	90	120	—	—	—	—	—	
	тонкое	6—8	30—10	3a	—	—	—	—	—	—	—	—	—	120
				3	—	—	—	—	60	80	90	120	60	
2a				25	40	47	62	25	40	47	62	—		

ности при обработке плоскостей			Степень точности формы и взаимного положения плоскостей, ГОСТ 10356-63	Предельное отклонение формы и расположения плоскостей, мкм								
обработки				А	Б	А	Б	А	Б	А	Б	
Св. 80 до 180	Св. 180 до 260	Св. 260 до 500		При размере (длина × ширина) в мм обрабатываемой плоскости								
емой плоскости				До 60×60	Св. 60×60 до 160×160	Св. 160×160 до 400×400	Св. 400×400 до 1000×1000					
530	600	760	} X1	80	100	120	160	200	250	250	400	
260	300	380		X	40	60	60	100	100	160	160	250
—	—	—		IX	25	40	40	60	60	100	100	160
260	300	380	} X	40	60	60	100	100	160	160	250	
160	185	250		IX	25	40	40	60	60	100	100	160
—	—	—		VIII	16	25	25	40	40	60	60	100
80	90	120	} VIII	16	25	25	40	40	60	60	100	
40	47	62		VII	10	16	16	25	25	40	40	60
27	30	40		VI	6	10	10	16	16	25	25	40
1000	1150	1550	} X1	80	100	120	160	200	250	250	400	
—	—	—		X	40	60	60	100	100	160	160	250
530	600	760	} X1	80	100	120	160	200	250	250	400	
260	300	380		X	40	60	60	100	100	160	160	250
—	—	—		IX	25	40	40	60	60	100	100	160
—	—	—	VIII	16	25	—	—	—	—	—	—	
160	185	250	} VIII	16	25	25	40	40	60	60	100	
80	90	120		VII	10	16	16	25	25	40	40	60
—	—	—		VI	6	10	10	16	16	25	25	40

Обработка	Класс шероховатости	Дефектный поверхностный слой, мкм	Класс точности обработки	Технологические допуски (в мкм) на размер до базовой поверхности, мм									
				До 80	Св. 80 до 180	Св. 180 до 260	Св. 260 до 500	До 80	Св. 80 до 180	Св. 180 до 260	Св. 260 до 500	До 80	
				При размерах (длина × ширина) в мм обрабатыва									
				До 160×160					Св. 160×160 до 400×400				
Протягивание	5—7	50—10	3а	—	—	—	—	120	160	185	250	120	
			3	60	80	90	120	60	80	90	120	60	
			2а	25	40	47	62	25	40	47	62	—	
Шлифование: предварительное	6	20	3а	120	160	185	250	120	160	185	250	120	
			3	60	80	90	120	60	80	90	120	60	
			2а	25	40	47	62	25	40	47	62	—	
чистовое или однократное	7—8	15—5	3	60	80	90	120	60	80	90	120	60	
			2а	25	40	47	62	25	40	47	62	25	
			2	20	27	30	40	20	27	30	40	20	
тонкое	8—10	5	2а	25	40	47	62	25	40	47	62	25	
			2	20	27	30	40	20	27	30	40	20	
			1	13	18	20	25	13	18	20	25	13	
Притирка, тонкое шабрение	8—10	5	1	13	18	20	25	13	18	20	25	13	

Примечания: 1. Данные таблицы относятся к деталям из стали, для деталей на один класс и степень выше.

2. Указанные для данной обработки (черновой, чистовой или тонкой) степени точности классов точности размера обработки.

3. Обозначение: Х1 — степень точности относится только к отклонениям от параллельности характеризуются степенью точности «грубее Х степени».

4. Данные таблицы относятся к случаю обработки деталей жесткой конструкции измерительной поверхности. Если эти поверхности не совпадают, то приведенные зна

5 А — неплоскостность и непрямолинейность; Б — непараллельность и непер

Продолжение табл 13

обработки			Степень точности формы и взаимного положения плоскостей ГОСТ 10850-63	Предельное отклонение формы и расположения плоскостей, мкм									
Св. 80 до 180	Св. 180 до 260	Св. 260 до 500		А	Б	А	Б	А	Б	А	Б		
емой плоскости				При размерах (длина × ширина) в мм обрабатываемой плоскости									
Св. 400×400 до 1000×1000				До 60×60	Св. 60×60 до 160×160		Св. 160×160 до 400×400		Св. 400×400 до 1000×1000				
160	185	250	} VIII	16	25	25	40	40	60	60	100		
80	90	120		} VII	10	16	16	25	25	40	40	60	
—	—	—			} VI	6	10	10	16	16	25	25	40
160	185	250	} VIII	16		25	25	40	40	60	60	100	
80	90	120		} VII	10	16	16	25	25	40	40	60	
—	—	—			} VI	6	10	10	16	16	25	25	40
80	90	120	} VII	10		16	16	25	25	40	40	60	
40	47	62		} VI	6	10	10	16	16	25	25	40	
27	30	40			} V	4	6	6	10	10	16	16	25
40	47	62	} VI	6		10	10	16	16	25	25	40	
27	30	40		} V	4	6	6	10	10	16	16	25	
18	20	25			} IV	2,5	4	4	6	6	10	10	16
						} III	1,6	2,5	2,5	4	4	6	6
18	20	25	} II	1,0	1,6		1,6	2,5	2,5	4	4	6	

лей из чугуна или цветных сплавов предельные отклонения по точности можно при- точности формы и взаимного положения плоскостей относится к любому из приведен- лельности и перпендикулярности плоскостей; отклонение от плоскостности и прямоли- при базировании по чисто обработанной поверхности и при использовании ее в качестве чения технологических допусков необходимо увеличить на погрешность установки. пендикулярность

14 Точность формы и взаимного расположения обрабатываемых плоскостей (на длине 300 мм) в зависимости от типа станков

Станки	Обработка	Отклонения, мкм				
		Нелпоскостность, не- прямолинейность	Непараллельность по отношению к поверхности		Неперпендикуляр- ность по отношению к поверхности	
			установочной	другой, обра- таваемой с этой же установки	установочной	другой, обра- таваемой с этой же установки
Долбежные	Долбле- ние черновое чистовое	100—200 25—60	100—200 16—40	100—250 16—40	100—200 25—60	100—250 25—60
Продольно-стро- гальные	Стрга- ние черновое чистовое тонкое	40—100 10—25 6—10	40—160 10—25 6—10	40—100 10—16 6—10	60—160 16—40 10—16	60—100 16—25 10—16
Поперечно-стро- гальные	черновое чистовое	60—160 10—40	100—200 16—40	100—250 16—60	100—200 25—60	100—250 25—60
Продольно-фре- зерные	Фрезеро- вание черновое чистовое тонкое	40—100 16—40 10—25	60—160 10—40 6—16	60—100 10—25 6—16	60—100 10—25 2,5—6	60—100 10—25 2,5—6
Барабанно-фре- зерные	черновое чистовое	60—160 25—60	60—160 10—40	60—100 10—25	60—100 10—40	60—100 10—40
Карусельно-фре- зерные	черновое чистовое тонкое	60—160 25—60 16—40	60—160 16—60 10—25	60—100 16—40 10—25	60—100 16—60 10—25	60—100 16—40 10—25
Вертикально- фрезерные обычной точ- ности	черновое чистовое тонкое	60—160 25—60 16—40	60—200 25—60 16—25	100—250 25—60 16—25	100—200 25—60 16—25	100—250 25—60 16—25
То же повышен- ной точности	черновое чистовое тонкое	40—100 16—40 10—25	60—160 16—40 10—16	60—160 16—40 10—16	60—160 16—60 16—25	60—160 16—60 16—25
Фрезерные гори- зонтальные и универсальные обычной точ- ности	черновое чистовое тонкое	60—160 25—60 16—40	60—160 16—60 10—25	60—100 16—40 10—25	60—160 16—60 10—25	60—100 16—40 10—25

Продолжение табл. 1

Станки	Обработка	Отклонения, мкм				
		Неплоскостность, не- прямолинейность	Непараллельность по отношению к поверхности		Неперпендикуляр- ность по отношению к поверхности	
			установочной	другой, обраба- тываемой с этой же установки	установочной	другой, обраба- тываемой с этой же установки
То же повышен- ной точности	черновое чистовое тонкое	60—100 25—40 16—25	60—160 16—40 10—16	60—160 16—40 10—16	60—160 16—40 10—16	60—160 16—40 10—16
Горизонтально- расточные	черновое чистовое тонкое	60—100 25—60 16—25	100—160 25—60 16—25	100—160 25—60 16—25	100—160 25—60 16—25	100—160 25—60 16—25
Агрегатно-фре- зерные	черновое чистовое тонкое	40—160 16—40 10—25	60—200 10—40 6—16	60—200 10—40 6—16	60—200 10—40 6—16	60—200 10—40 6—16
Плоскошлифо- вальные обыч- ной точности	Шлифо- вание черновое чистовое тонкое	16—40 6—16 4—6	25—100 6—25 4—10	25—100 6—25 4—10	60—160 16—40 10—25	60—160 16—40 10—25
То же повышен- ной точности	черновое чистовое тонкое	10—25 4—6 2,5—4	25—60 4—6 4	25—60 4—6 4	40—160 16—25 6—16	40—160 16—25 6—16

15. Точность взаимного расположения отверстий с параллельными осями

Станки	Метод координации инструмента	Отклонение межосевого расстояния, мкм
Сверление отверстий		
Вертикально- и радиаль- но-сверлильные	По разметке По кондуктору	500—1000 100—200
Растачивание отверстий		
Вертикально- и радиаль- но-сверлильные	По кондуктору	50—100
Токарные	По разметке На угольнике с салазками	1000—2000 100—300

Продолжение табл. 15

Станки	Метод координации инструмента	Отклонение межосевого расстояния, мкм
Горизонтально-расточные	По разметке По шкале с нониусом По штихмасу и щупу По координатному шаблону По концевым мерам По кондуктору, индикаторному упору, на станках с программным управлением установкой координат	400—600 200—400 50—250 80—200 50—100 40—80
Агрегатные многошпиндельные	По кондуктору	50—200
Алмазно-расточные	—	10—50
Координатно-расточные	По оптическим приборам	4—20
<p>Примечание. Величины отклонений, приведенные для растачивания отверстий на сверлильных, горизонтально-расточных и агрегатных станках, относятся также к обработке отверстий развертыванием.</p>		

16. Точность взаимного расположения отверстий с перпендикулярными осями

Станки	Метод координации инструмента	Неперпендикулярность осей на длине 100 мм, мкм	Примечание	
Сверление отверстий				
Вертикально-сверлильные	По разметке По кондуктору	500—1000 100	При растачивании отверстий с перпендикулярными осями погрешность межосевого расстояния принимают с учетом координации инструмента по табл.15	
Растачивание отверстий				
Фрезерные	Поворотом делительной головки Поворотом стола	50—100 20—50		
Горизонтально-расточные	По разметке Поворотом детали на столе с выверкой индикатором Поворотом стола По кондуктору	500—1000 50—150 60—300 40—200		
Агрегатные многошпиндельные	По кондуктору	50—100		

РАСЧЕТ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ

Методы получения размеров. Заданные размеры могут быть выдержаны при настройке инструмента двумя способами:

индивидуальным, при котором каждую деталь обрабатывают после новой настройки (сюда относят способ настройки путем пробных проходов и промеров); партионным, его называют также способом автоматического получения размеров, при котором заданную партию деталей обрабатывают с одной настройки; сюда относят обработку мерным инструментом (сверлами, зенкерами, развертками, протяжками), обработку деталей на предварительно настроенных токарных, фрезерных и других станках.

Аналогично способам настройки инструмента при механической обработке различают два способа получения заготовок:

индивидуальный, когда точность заготовок зависит от произвольного сочетания условий изготовления каждой отдельной заготовки, например для отливок — от плотности и точности форм, для поковок, выполненных методом свободнойковки, — от условийковки;

автоматический, когда точность заготовок определяется ошибками регулирования, настройки соответствующего оборудования, точностью изготовления инструмента, влиянием нарастающего износа инструмента (литье под давлением, получение заготовок штамповкой в штампах).

Способ получения заготовок и способ настройки тесно связаны между собой. Заготовки, полученные индивидуальным способом, обычно устанавливают на станках с помощью выверки, а положение инструмента регулируют способом индивидуальной настройки.

Более точные заготовки, полученные вторым способом, обычно устанавливают в приспособлениях без выверки, а обрабатывают способом партионной настройки.

При расчетах суммарной и элементарных погрешностей эти особенности получения размеров обязательно учитывают.

Понятие модели. Для изучения и выявления закономерностей процессов обработки деталей часто прибегают к их исследованию с помощью моделей, отражающих основные свойства явлений (объектов моделирования). Изучение свойств объекта моделирования с помощью анализа аналогичных свойств его модели представляет собой процесс моделирования. Различают физические и математические методы моделирования. Физическое моделирование обычно предназначено для исследования натуральных моделей подобия, в меньшем масштабе воспроизводящих объект моделирования. Математическое моделирование основано на том, что реальные процессы в объекте моделирования описывают определенными математическими соотношениями, устанавливающими связь между входными и выходными воздействиями. Математическое моделирование, сохраняя основные черты протекающих явлений, все же основано на упрощении и схематизации. Математические модели являются моделями неполной аналогии.

Для успешного использования модели необходимо, чтобы она количественно и качественно верно описывала свойства объекта моделирования, т. е. она должна быть адекватна.

В зависимости от метода получения математических соотношений различают модели типа «черный ящик», модели, основанные на описании физических и химических явлений, и смешанные модели.

Модель типа «черный ящик» строится при отсутствии достаточно достоверных теоретических сведений о моделируемом объекте. Эту модель называют статистической. Уравнения этой модели представляют собой эмпирические зависимости, полученные методом корреляционного и регрессионного анализа. К достоинствам такой модели относятся простота, адекватность исследуемому объекту, возможность описания сложных объектов, наличие стандартных методов получения. Недостатком является невозможность экстраполяции в область, выходящую за пределы экспериментального изменения переменных. Уравнения не отражают

физические свойства объекта, поэтому их нельзя использовать для анализа моделей подобных объектов.

Модель, построенная на описании физических процессов, протекающих в объекте, качественно более правильно характеризует его даже при наличии недостаточно точных в количественном отношении параметров модели. К ее достоинствам относятся возможности построения до экспериментального исследования объекта, использования при анализе других аналогичных объектов, сознательного управления объектом, так как коэффициенты модели имеют ясный физический смысл. Однако сложность реальных процессов, схематизация при построении требуют обязательной экспериментальной проверки адекватности модели реальному объекту.

Модели смешанного типа строят на основе описания физических процессов в объекте, однако ряд коэффициентов определяют экспериментально.

Математическое моделирование открывает широкие возможности для обобщения исследований, так как различные по характеру процессы часто имеют сходные математические модели. Это свойство аналогий позволяет использовать аналоговую вычислительную технику, распространять результаты исследования одних объектов для исследования других, даже относящихся к другой области науки или техники.

При оценке погрешности диаметра цилиндрической детали, возникающей из-за упругих деформаций технологической системы, ограничиваются анализом влияния постоянной (в пределах одного оборота) составляющей усилия резания. Для объяснения же механизма возникновения отклонений формы, пространственных погрешностей обработанного профиля и их оценки необходим анализ системы в динамике. Таким образом, вид параметра может решительным образом сказаться на модели процесса.

При анализе точности обработки технологическую систему СПИД обычно рассматривают как линейную динамическую систему. Это позволяет получать явные решения в замкнутой форме.

Термин «динамическая система» указывает, что процессы в этой системе протекают во времени. Заметим, что динамическая система в целом может быть нелинейной, но при исследовании точности обработки, когда элементы системы незначительно отклоняются от положения равновесия, систему в этом узком диапазоне можно рассматривать как линейную.

Внешние возмущения, действующие на входе в систему или в элементы системы, называют входными переменными, входными сигналами или входными функциями. На выходе наблюдаются выходные переменные, выходные сигналы или выходные функции системы или элемента. При работе системы каждой комбинации входных функций [вектору $x(t)$] соответствует определенная единственная комбинация выходных функций [вектор $y(t)$]. Закон, по которому по заданным входным функциям $x(t)$ определяют выходные функции $y(t)$, называют оператором (обозначим его через A):

$$y(t) = Ax(t).$$

Система линейна, если линейен ее оператор.

Оператор A называют линейным, если при любых числах $n; c_1; \dots; c_n$ и любых функциях $x_1(t), \dots, x_n(t)$ справедливо равенство

$$A \left\{ \sum_{r=1}^n c_r x_r(t) \right\} = \sum_{r=1}^n c_r A x_r(t).$$

Равенство выражает свойства однородности и независимости действия факторов (наложимости воздействий, суперпозиции, аддитивности). Понятие однородности означает, что реакция системы на любой сигнал, умноженный на некоторую постоянную, равна этой постоянной, умноженной на реакцию системы на входной сигнал.

В соответствии со свойством суперпозиции реакция системы (перемещения, напряжения и деформации) на сумму входных сигналов (сил или тепловых воздействий) не зависит от порядка приложения сил или тепловых полей и равна сумме реакций на каждый отдельно взятый входной сигнал. При этом подразумевают, что модуль упругости E и коэффициент линейного расширения α не зависят от напряжения и температуры.

Свойство суперпозиции дает возможность упростить расчеты динамических систем. Действующее при обработке усилие резания в большинстве случаев имеет четко выраженный период колебаний T . Произвольно заданное внешнее воздействие $P(t)$ (силовое или тепловое) представляют совокупностью некоторых однотипных составляющих; далее определяют эффект действия одной из составляющих; общий эффект от действия силы $P(t)$ находят как соответствующую сумму частных.

Применяют различные варианты разложения возмущающей силы. Чаще всего силу представляют в виде конечной суммы гармонических составляющих (разложение в ряд Фурье):

$$P(t) = P_0 + \sum_{k=1}^n P_k \cos(k\omega t + \varphi_k).$$

Возможность рассмотрения технологической системы как линейной позволяет разработать наглядную и логичную теорию точности, основанную на дифференцированном анализе простейших элементов технологического процесса или операции. При этом полностью раскрывается физическая сущность указанных элементов. Обязательным условием является возможность описания простейших элементов аналитически.

При обработке деталей на станке протекает несколько рабочих процессов: резание, трение, процессы в двигателе. Эти процессы воздействуют на упругую систему, вызывая смещение ее деталей, образующих подвижное соединение, в котором протекает рабочий процесс. Но наблюдается и обратное воздействие. Например, при смещении инструмента и заготовки изменяются глубина и усилие резания. Это заставляет рассматривать динамическую систему как замкнутую систему с отрицательной обратной связью.

В замкнутой системе усилия резания являются внутренними воздействиями. Анализируем влияние на систему внешних воздействий. На систему действуют периодические силы, возникающие из-за погрешностей зубчатых, шлицевых и других передач, неуравновешенности вращающихся деталей, передаваемые фундаменту станка от другого оборудования и т. п.; внешние воздействия на процесс резания связаны с переменностью: сечения срезаемого слоя (при фрезеровании, следи предшествующей обработки, при обработке эксцентрично расположенных заготовок), скорости резания при обтачивании торцов и т. п.

Введение понятия о замкнутости системы является основным при анализе виброустойчивости и других вопросов. В ряде случаев обратную связь не учитывают. Тогда усилие резания считают внешним силовым фактором.

Математические методы, применяемые при анализе, существенно зависят от вида системы. Систему, которая на одно и то же входное воздействие всегда отвечает определенным выходным воздействием, называют детерминированной.

В том случае, когда свойства оператора не зависят от времени, такой оператор и систему называют стационарными. В стационарной системе при любом сдвиге во времени входного возмущения без изменения его формы выходное воздействие претерпевает такой же сдвиг во времени без изменения своей формы.

Если же при одном входном воздействии выходное воздействие различно, то систему называют недетерминированной; если это выходное воздействие подчиняется явно выраженным статистическим (вероятностным) закономерностям, то систему называют стохастической.

Цели расчета. При расчетах точности обработки можно:

оценить величину возможного рассеивания заданного параметра (вычислить суммарную погрешность обработки);

установить удельный вес элементарных погрешностей, разработать мероприятия, снижающие влияние доминирующих погрешностей на точность обработки (например, принимают другие варианты базирования, закрепления деталей; вместо многоорецовкой обработки нежестких деталей вводят обработку на гидрокопировальных станках и т. п.);

регламентировать продолжительность обработки деталей до принудительной подрегулировки или смены режущего инструмента, наиболее изнашивающихся деталей приспособления и т. п.

Наиболее сложным является вычисление суммарной погрешности обработки. Это объясняется недостаточным количеством данных по элементарным погрешностям обработки, отсутствием частных методик по расчету технологических процессов на точность. Поэтому технологу в ряде случаев приходится самостоятельно разрабатывать план, анализировать результаты теоретических и экспериментальных исследований.

Обычно ограничиваются решением двух последних задач, так как уже это дает большой эффект в повышении точности обработки, особенно для автоматизированного производства. Для ряда операций, производимых на токарных и расточных станках, расчет может быть выполнен в полном объеме. В наиболее сложных случаях для снижения трудоемкости целесообразно расчет выполнять на вычислительных машинах.

Основные элементарные погрешности обработки. При обработке детали кроме необходимого для формирования поверхности движения инструмента происходят относительные смещения детали (заготовки) и инструмента. В результате элементарная обработанная поверхность будет иметь размер, форму и расположение, отличные от заданных.

Смещения отсчитывают от определенной базы — так называемой поверхности отсчета — в установленном направлении. Обычно систему отсчета связывают с номинальной обрабатываемой поверхностью. Для удобства за поверхность отсчета можно принимать и поверхность, эквидистантно расположенную относительно номинальной. Например, при анализе погрешностей обработки поверхностей вращения в ряде случаев за поверхность отсчета принимают идеально расположенную ось детали.

Применяют два варианта определения ошибок. По первому варианту ошибка равна модулю радиуса-вектора, связывающего точки на реальном и заданном контурах, полученных в один и тот же момент времени. Такое соответствие называют кинематическим или синхронным. При втором варианте ошибка по модулю равна радиусу наименьшей из сфер с центром в точке на реальном профиле, имеющей, по крайней мере, одну общую точку с заданной поверхностью и не пересекающейся с ней. Данная система выбора соответственных точек называется естественной. Ошибку или отклонение в естественной системе называют действующей ошибкой.

Появление дополнительных смещений элементов технологической системы станок — приспособление — инструмент — деталь (далее СПИД) связано с действием на систему различных тепловых, силовых и иных факторов. Элементарные погрешности обработки характеризуют смещения одного или нескольких элементов системы СПИД под влиянием одного или нескольких факторов.

Различают следующие основные погрешности:

$\Delta_{\epsilon y}$ — погрешность установки заготовок в приспособлениях с учетом колебания размеров базовой поверхности, контактных деформаций установочных баз заготовки и приспособления, точности изготовления и износа приспособления;

Δ_{μ} — колебание упругих деформаций системы СПИД под влиянием нестабильности нагрузок (усилий резания, сил инерции и др.), действующих в системе переменной жесткости;

Δ_n — погрешность настройки станка на выдерживаемый размер с учетом точностной характеристики применяемого метода настройки;

Δ_n — погрешность от размерного износа режущего инструмента;

$\sum \Delta_{ст}$ — геометрические погрешности станка, влияющие на выдерживаемый параметр с учетом износа станка за период эксплуатации;

$\sum \Delta_t$ — колебание упругих объемных и контактных деформаций элементов технологической системы от нагрева за счет тепла, выделяющегося при резании, от трения подвижных элементов системы, колебания температуры в цехе.

Такое представление об элементарных погрешностях является условным и обосновано главным образом удобством их расчета. В некоторых случаях можно определять отдельно погрешности, влияющие на точность обработки. Например, смещения, связанные деформациями в сопряжениях деталей, могут быть отнесены к Δ_y или Δ_{e_y} , но расчет этих смещений ведут по единой методике, изложенной ниже. Погрешность измерения в общем случае учитывают в составе погрешности настройки Δ_n . Иногда погрешность измерения очень влияет на общую погрешность, и поэтому она также рассматривается отдельно.

На суммарную погрешность обработки могут влиять остаточные напряжения от предшествующей обработки или характерные для заданной операции факторы, например скорость и продолжительность съема при доводочных операциях.

Расчет суммарной погрешности обработки. Расчет суммарной погрешности обработки детали по данному параметру (размеру, отклонению формы и т. п.) состоит из трех этапов. На первом этапе проводят схематизацию реальной операции. Далее выполняют теоретический анализ операции, в результате которого устанавливают соотношения элементарных и суммарной погрешностей. На третьем этапе экспериментально проверяют полученные соотношения.

Анализ точности с полным учетом всех факторов невозможен, поэтому при схематизации операции (выборе расчетной схемы, модели) обосновывают возможность учета факторов, которые наиболее заметно влияют на точность обработки.

При схематизации объекта правильный выбор схемы, оправданность решения того, какой фактор существенно или незначительно влияет на результаты операции, — весьма сложный вопрос, связанный и со степенью изученности проблемы, и с возможностью существующих теорий, и с задачами расчета.

Так, при расчете погрешности базирования обычно пренебрегают отклонениями формы базовой поверхности заготовок. Такая схематизация часто оправдана, но не для всех операций. Например, при обработке валов, устанавливаемых в люнет, погрешности формы базовой поверхности копируются на обработанном профиле детали, поэтому схема расчета должна быть иной.

Соотношения по точности параметра устанавливаем суммированием факторов, учитываемых при анализе данного параметра (размера, отклонения формы, расположения поверхностей). Закон суммирования определяется природой этих погрешностей.

Примем, что на основе анализа системы получено, что исследуемый параметр детали Y представляет собой функцию нескольких переменных X_n : $Y = f(X_1; X_2; X_3; \dots, X_n)$. Для идеальных условий соответственно имеем $Y_0 = f(X_{10}, \dots, X_{i0}, \dots, X_{n0})$.

В реальных условиях значения параметров отличаются от идеальных (номинальных) на некоторую величину $\Delta_i = (X - X_0)_i$. Выходной параметр также может иметь некоторую погрешность. При расчете линейных систем предполагаем, что отклонения параметров малы и взаимно независимы. Произведениями погрешностей пренебрегаем. Функцию $Y = f(X_i)$ в окрестностях номинальных значений параметров разложим в ряд Тейлора. Ограничиваясь учетом только погрешности в первой степени, получим соотношение для расчета абсолютной погрешности ΔY выходного параметра Y :

$$\Delta Y = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial X_i} \right)_{\bar{X}_i} \Delta_i,$$

Индексы при частных производных \bar{X}_i показывают, что значения производных при X_i равны среднему значению \bar{X}_i или математическому ожиданию MX_i (идеальному, номинальному значению).

Соотношение $df/dX_i = S_i$ в теории чувствительности называют абсолютной чувствительностью функции цепи к изменению параметра, в теории размерных цепей — коэффициентом влияния, передаточным отношением.

При расчете наилучшего случая элементарные погрешности суммируют по методу максимума-минимума:

$$\Delta_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial f}{\partial X_i} \right|_{\bar{X}_i} |\Delta_i|.$$

Приведенное соотношение удобно для расчета, когда все параметры имеют одинаковую размерность. При разных размерностях параметров целесообразно пользоваться относительными погрешностями:

$$\frac{\Delta_{\Sigma}}{Y} = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial f}{\partial X_i} \frac{\bar{X}_i}{Y} \right|_{\bar{X}_i} \left| \frac{\Delta_i}{\bar{X}_i} \right|.$$

Из равенства вытекает, что повышение точности обработки может быть достигнуто повышением точности каждого параметра, вариацией коэффициентов влияния и сокращением числа входных параметров, влияющих на отклонение выходного параметра.

Рассмотренный метод расчета не учитывает реальных комбинаций параметров, поэтому он дает завышенное в 1,5—10 раз значение погрешности выходного параметра.

При вероятностном методе расчета отклонения ΔY , Δ_i рассматривают как случайные величины. Основное соотношение имеет вид $\Delta Y = \sum_{i=1}^n S_i \Delta_i = \sum_{i=1}^n \xi_i$,

где $\xi_i = S_i \Delta_i$ — случайная величина.

Пусть, например $\Delta Y = \xi_1 + \xi_2$. Если ξ_1 и ξ_2 корреляционно связаны, то коэффициент корреляции

$$R_{12} = M \{(\xi_1 - \bar{\xi}_1)(\xi_2 - \bar{\xi}_2)\} = M \{\xi_1 \xi_2\} - \bar{\xi}_1 \bar{\xi}_2.$$

Здесь математическое ожидание обозначено M или черточкой над индексом. Пусть события ξ_1 и ξ_2 связаны линейной зависимостью

$$\xi_2 = A\xi_1 + B,$$

тогда дисперсия $D_2 = A^2 D_1$ и коэффициент корреляции

$$\begin{aligned} R_{12} &= M \{(\xi_1 - \bar{\xi}_1)(A\xi_1 + B - A\bar{\xi}_1 - B)\} = \\ &= AM \{(\xi_1 - \bar{\xi}_1)^2\} = AD_1 = r_{12} \sqrt{D_1 D_2}, \end{aligned}$$

где r_{12} — нормированный коэффициент корреляции, равный $R_{12}/\sqrt{D_1 D_2}$ принимает значения ± 1 .

Соответственно для дисперсии результирующего распределения имеем

$$\begin{aligned} D &= M \{(\xi_1 + \xi_2 - M\{\xi_1 + \xi_2\})^2\} = M \{[\xi_1 + \xi_2 - (\bar{\xi}_1 + \bar{\xi}_2)]^2\} = \\ &= M \{(\xi_1 - \bar{\xi}_1)^2 + (\xi_2 - \bar{\xi}_2)^2 + 2(\xi_1 - \bar{\xi}_1)(\xi_2 - \bar{\xi}_2)\} = \\ &= D_1 + D_2 + 2R_{12} = D_1 + D_2 + 2\sqrt{D_1 D_2} r_{12}. \end{aligned}$$

Математическое ожидание $M(\xi)$ связано с координатой середины поля допуска $E(\xi)$ зависимостью

$$M(\xi) = E(\xi) + 0,5\alpha\delta(\xi),$$

где δ — допуск; α — коэффициент относительной асимметрии.

На основе изложенного для любого числа параметров $i = n$ систематическая погрешность, равная математическому ожиданию $M(Y) = m_{\Sigma}$, определяется по соотношению

$$m_{\Sigma} = E(Y) + 0,5\alpha\delta(Y) = \sum_{i=1}^n S_i [E(\Delta_i) + 0,5\alpha_i\delta(\Delta_i)].$$

Коэффициент относительного рассеивания, характеризующий отношение величины поля рассеивания погрешности при нормальном законе распределения к величине действительного поля рассеивания, обозначим K_i , где i — индекс элементарной погрешности. Для нормального закона распределения $K_i = 1,0$; для закона равной вероятности $K_i = 1,73$; при композиции закона равной вероятности и нормального закона $K_i = 1,2 \div 1,5$. ($K_i = 1,2$ при $l/6\sigma = 1$, где l — приращение размера за счет переменной систематической погрешности; σ — среднее квадратическое отклонение; $K_i = 1,5$ при $l/6\sigma = 3$); для закона Симсона $K_i = 1,22$; Релея $K_i = 1,097$ и Максвелла $K_i = 1,13$.

Если между рядом погрешностей, рассматриваемых попарно, например между Δ_j и Δ_i , существует стохастическая (вероятностная) связь с коэффициентом корреляции r_{ji} , то суммарную погрешность обработки вычисляют по формуле

$$\Delta_{\Sigma} \approx \frac{1}{K} \sqrt{\sum_{i=1}^n (K_i S_i \delta_i)^2 + 2 \sum_{j \neq i}^m K_j K_i \delta_j \delta_i S_j S_i r_{ji}},$$

где m — число попарно стохастически связанных параметров.

Заметим, что формула действительна для определения абсолютной и относительной суммарной погрешностей.

Элементарные погрешности, изменяющиеся во времени t , являются случайными функциями времени, например погрешность, связанная с износом инструмента. Тогда

$$\Delta_{\Sigma}(t) \approx \frac{1}{K} \sqrt{\sum_{i=1}^n [K_i(t) S_i \delta_i(t)]^2 + 2 \sum_{j \neq i}^m K_j(t) K_i(t) \times \dots \times S_j S_i \delta_j(t) \delta_i(t) r_{ji}(t)} \dots$$

Более точный результат может быть получен при применении аппарата случайных функций.

Часто при расчетах $S_i = 1$, если погрешности независимы и не зависят от времени,

$$\Delta_{\Sigma} = \frac{1}{K} \sqrt{\sum_{i=1}^n [K_i \delta_i]^2}.$$

Пользуясь приведенной зависимостью, погрешность Δ_{Σ} диаметра цилиндра рассчитывают по формуле

$$\Delta_{\Sigma} = \frac{2}{K} \sqrt{(K_2 \Delta_y)^2 + (K_3 \Delta_n)^2 + (K_4 \Delta_n)^2 + (K_5 \Sigma \Delta_{ст})^2 + (K_6 \Sigma \Delta_T)^2}.$$

Элементарное смещение центра обрабатываемого профиля $\Delta \varepsilon_y$, возникающее при установке детали в приспособлении и из-за пространственной погрешности приспособления, при этом не учитывают.

Погрешности формы в продольном сечении могут быть учтены отдельным слагаемым $\Sigma \Delta_{\phi}$ путем суммирования его со значением погрешности диаметрального размера, вычисленной для определенного поперечного сечения.

Для линейных размеров, координирующих положение обрабатываемого профиля относительно другой поверхности детали, применяют формулу

$$\Delta_{\Sigma} = \frac{1}{K} \sqrt{(K_1 \Delta \varepsilon_y)^2 + (K_2 \Delta y)^2 + (K_3 \Delta_n)^2 + (K_4 \Delta_n)^2 + \dots + (K_5 \Sigma \Delta_{\text{ст}})^2 + (K_6 \Sigma \Delta_{\text{т}})^2}$$

При расчетах по последним двум формулам можно принять $K_1 = K_2 = K_3 = 1$ и $K_4 = K_5 = K_6 = 1,73$.

Отметим, что при расчетах Δ_{Σ} часто удобнее анализировать не отдельные элементарные погрешности, а комплексы погрешностей. Например, при установке деталей на пальцах с зазором вычисляют комплексную погрешность, учитывающую точность базового отверстия и установочного пальца приспособления. Жесткость и отжатия узлов токарного станка определяют с учетом деформаций в стыках отверстие — центр станка и т. п.

Приведенное выше описание вероятностного метода суммирования позволяет получить достоверные значения величин m_{Σ} и Δ_{Σ} . Однако в ряде случаев данных для подобного анализа недостаточно, поэтому ограничиваются приближенной оценкой суммарной погрешности, принимая $K_i = 1$ и

$$\Delta_{\Sigma} \approx \frac{1}{K} \sqrt{\sum \delta_i^2}$$

Метод квадратичного суммирования дает заниженное до 6 раз значение суммарной погрешности выходного параметра.

В указанных выше формулах коэффициент $1/K$ (K — коэффициент относительного рассеивания выходного параметра) корректирует величину суммарной погрешности для заданной гарантированной надежности P_r . Значения этого коэффициента приведены ниже:

P_r	0,70	0,80	0,90	0,95	0,98	0,9973	0,9995	0,99999
$1/K$	0,347	0,427	0,548	0,683	0,775	1,0	1,167	1,470

Иногда суммарную погрешность определяют смешанным методом расчета. Принимают, что некоторые параметры изменяются детерминированно, поэтому суммирование их выполняют по методу максимума—минимума; для других же учитываемых факторов применяют вероятностное суммирование.

Эффективным способом вычисления суммарной погрешности является статистическое моделирование, использующее ЭВМ (методы Монте-Карло). Определяют псевдослучайные значения факторов и с помощью ЭВМ погрешность выходного параметра. Статистические свойства системы оценивают путем многократного построения процесса. Метод допускает произвольное распределение параметров. Метод Монте-Карло применяют для систем массового производства; он может быть легко запрограммирован, но требует относительно большого машинного времени.

Аналитическое представление реальной поверхности позволяет более четко выявить законы суммирования отклонений размера и формы поверхности. Различают номинальные геометрические поверхности, имеющие предписанные чертёжом формы и размеры, без каких бы то ни было неровностей и отклонений,

и действительные (реальные) поверхности деталей. Понимая под профилем линию пересечения поверхности плоскостью, определенным образом ориентированной, различают также номинальный и действительный профили детали [9, 18, 32].

При исследовании точности обработки деталей с номинально цилиндрической поверхностью широко используют методы спектральной теории неровностей и других геометрических параметров.

Введем понятие о текущем размере как о радиусе-векторе, равном расстоянию от точки на реальном профиле до геометрического центра номинального профиля детали. Очевидно, что в общем случае радиус-вектор R зависит от угловой координаты φ точки и координаты z , направленной вдоль оси:

$$R = F(\varphi, z).$$

Если номинальный радиус поверхности обозначить как R_0 , то функция $f(\varphi, z)$, изображающая погрешность (абсолютная погрешность ΔR), в общем случае (при $0 \leq z \leq l$, где l — длина поверхности) характеризует нецилиндричность:

$$f(\varphi, z) = R - R_0 = \Delta R;$$

в поперечном сечении (при $z = z_i$) — некруглость:

$$f(\varphi) = R - R_0 = \Delta R;$$

в продольном сечении (при $\varphi = \varphi_i$) — погрешность образующей:

$$f(z) = R - R_0 = \Delta R.$$

Функцию погрешности поперечного сечения приближенно можно представить в виде ряда Фурье с конечным числом членов $k = n$:

$$f(\varphi) \approx \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{k=n} (a_k \cos k\varphi + b_k \sin k\varphi)$$

или

$$f(\varphi) \approx \frac{c_0}{2} + \sum_{k=1}^{k=n} c_k \cos(k\varphi + \varphi_k),$$

где a_k, b_k, c_k — коэффициенты ряда Фурье; k — порядковый номер составляющей гармоники.

Контур поперечного сечения удовлетворяет условию замкнутости, период равен 2π :

$$f(\varphi + 2\pi) = f(\varphi).$$

Коэффициенты ряда Фурье равны

$$a_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\varphi) \cos k\varphi d\varphi; \quad b_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\varphi) \sin k\varphi d\varphi.$$

Между амплитудой k -ой гармоники c_k и коэффициентами a_k и b_k , а также начальной фазой φ_k существует соотношение

$$a_k = c_k \cos \varphi_k; \quad b_k = c_k \sin \varphi_k; \quad c_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2};$$

$$\operatorname{tg} \varphi_k = \frac{b_k}{a_k}; \quad c_0 = a_0 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\varphi) d\varphi.$$

Члены разложения имеют явный физический смысл. Нулевой член, т. е. величина $c_0/2$ равна среднему значению функции за период $T = 2\pi$. Эта величина характеризует отклонение собственно размера, являясь постоянной (независимой от угловой координаты φ) составляющей текущего размера. Первый член разложения $c_1 \cos(\varphi + \varphi_1)$ характеризует отклонение расположения реального и номинального профилей (эксцентриситет с амплитудой c_1 и фазой φ_1). Следующие члены ряда Фурье характеризуют: $c_2 \cos(2\varphi + \varphi_2)$ — овальность (заметьте, что овальность $\Delta_{\text{ов}}$ равна $4c_2$, составляющая некруглости $\Delta'_{\text{кр}}$ равна $0,5\Delta_{\text{ов}} = 2c_2$); $c_3 \cos(3\varphi + \varphi_3)$ — огранку с трехвершинным профилем и т. п.

Таким образом, члены ряда при $k = 1 \rightarrow P$ характеризуют спектр отклонений формы детали в поперечном сечении, следующие члены ряда — волнистость и при достаточно больших значениях k — шероховатость поверхности.

Аналогичный метод может быть применен к профилю продольного сечения цилиндрической детали.

Условие замкнутости контура в этом случае не удовлетворяется:

$$f(z) \neq f(z + l).$$

Можно принять, что период совпадает с удвоенной длиной детали $2l$, тогда

$$f(z) = f(z + 2l) \text{ и } f(z) = \frac{c_0}{2} + \sum_{k=1}^{k=n} c_k \sin \frac{k\pi}{2l} z.$$

Первый член разложения в ряд Фурье можно разложить в степенной ряд и, удерживая первый член этого ряда, имеем

$$c_1 \sin \frac{\pi}{2l} z \approx c_1 \frac{\pi}{2l} z.$$

Таким образом, этот член ряда можно рассматривать как наклон образующей (конусообразность). Второй член $c_2 \sin \frac{\pi}{l} z$ выражает выпуклость контура в продольном сечении (бочкообразность) или при сдвиге фаз на угол $\pi/2$ — седлообразность $\left(c_2 \cos \frac{\pi}{l} z\right)$ и т. п.

В более общем случае при анализе ошибок цилиндрической поверхности детали амплитуды являются функциями осевой координаты z :

$$f(\varphi, z) = \frac{c_0(z)}{2} + \sum_{k=1}^{k=n} c_k(z) \cos(k\varphi + \varphi_k).$$

Так как

$$c_{ki}(z) = \frac{c_{k0}}{2} + \sum_{i=1}^{i=q} c_{ki} \sin \frac{i\pi}{2l} z,$$

то выражение для погрешностей номинально цилиндрического вала можно записать в виде двойного тригонометрического ряда:

$$f(\varphi, z) = \frac{c_{00}}{2} + c_{11} \cos(\varphi + \varphi_1) \sum_{i=1}^{i=q} \sin \frac{i\pi}{2l} z + \\ + \sum_{k=2}^{k=p} \sum_{i=1}^{i=q} c_{ki} \cos(k\varphi + \varphi_k) \sin \frac{i\pi}{2l} z.$$

Нулевой член

$$\frac{c_{00}}{2} = \frac{1}{2\pi l} \int_0^{2\pi} \int_0^l f(\varphi, z) d\varphi dz$$

как и ранее представляет среднее значение функции $f(\varphi, z)$, т. е. характеризует отклонение собственно размера. Член ряда, содержащий c_{11} , выражает эксцентриситет, величина которого меняется по длине вала и т. п.

Изложенная методика позволяет проанализировать отклонения собственно размера (ΔR или $2\Delta R = \Delta D$), формы и т. д., рассматриваемые как систематические отклонения. Методику можно использовать при рассмотрении детерминированных систем. Однако в общем случае амплитуды и фазы отклонений являются случайными величинами. Вероятностные методы суммирования отклонений для поперечного сечения номинально цилиндрической поверхности рассмотрены ниже.

Функция погрешности контура поперечного сечения детали является в данном случае случайной функцией. Для произвольной детали (i -й) получаем реализацию случайной функции. Случайная величина $c_0/2$, как и ранее, выражает погрешность собственно размера (радиуса), случайная функция $c_2 \cos(2\varphi + \psi_2)$ — овальность и т. д. Аддитивная комбинация отклонений собственно размера и формы дает суммарную погрешность текущего размера в данном поперечном сечении номинально цилиндрической поверхности.

Исключая из рассмотрения отклонение расположения и учитывая только отклонение формы, имеем

$$\xi(\varphi) \approx a_0 + \sum_{k=2}^{k=p} c_k \cos(k\varphi + \psi_k).$$

Принимаем, что случайная величина a_0 (здесь a_0 равна $c_0/2$ в разложении Фурье) подчинена закону нормального распределения с плотностью вероятности:

$$f(a_0) = \frac{1}{\sigma_0 \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(a_0 - m_0)^2}{2\sigma_0^2} \right],$$

где σ_0 — среднее квадратическое отклонение величины a_0 ; m_0 — математическое ожидание.

Будем считать, что начальная фаза ψ_k распределена равномерно в интервале от 0 до 2π , тогда плотность вероятности

$$f(\psi_k) = \begin{cases} \frac{1}{2\pi} & \text{при } 0 \leq \psi_k \leq 2\pi; \\ 0 & \text{при } \psi_k < 0, \quad \psi_k > 2\pi. \end{cases}$$

Амплитуда c_k подчинена закону Релея с плотностью вероятности:

$$f(c_k) = \begin{cases} \frac{c_k}{\sigma_{0k}^2} \exp \left(-\frac{c_k^2}{2\sigma_{0k}^2} \right) & \text{при } c_k \geq 0; \\ 0 & \text{при } c_k < 0. \end{cases}$$

При этом математическое ожидание m_k и дисперсия $D_k = \sigma_k^2$ соответственно равны

$$m_k = \sigma_{0k} \sqrt{\frac{\pi}{2}}, \quad \sigma_k^2 = \sigma_{0k}^2 \left(2 - \frac{\pi}{2} \right),$$

где σ_{0k} — параметр закона Релея.

Принимаем, что случайные величины a_0, c_k, Ψ_k независимы. Найдем математическое ожидание $M \{ \xi(\varphi) \}$ случайной функции $\xi(\varphi)$:

$$\begin{aligned} M \{ \xi(\varphi) \} &= M \left\{ a_0 + \sum_{k=2}^{k=p} c_k \cos(k\varphi + \Psi_k) \right\} = \\ &= m_0 + \sum_{k=2}^{k=p} M \{ c_k \cos(k\varphi + \Psi_k) \} = m_0, \end{aligned}$$

так как

$$M \{ \cos(k\varphi + \Psi_k) \} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \cos(k\varphi + \Psi_k) d\Psi_k = 0.$$

Корреляционная функция $K_\xi(\varphi_1; \varphi_2)$ суммарной погрешности размеров и формы

$$K_\xi(\varphi_1; \varphi_2) = M \{ [\xi(\varphi_1) - M \{ \xi(\varphi_1) \}] [\xi(\varphi_2) - M \{ \xi(\varphi_2) \}] \}.$$

Так как

$$\begin{aligned} M \{ (a_0 - m_0)^2 \} &= \sigma_0^2; \quad M \{ a_0 - m_0 \} = 0; \\ M \{ \cos(k\varphi_1 + \Psi_k) \cos(k\varphi_2 + \Psi_k) \} &= \\ &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \cos(k\varphi_1 + \Psi_k) \cos(k\varphi_2 + \Psi_k) d\Psi_k = \frac{1}{2} \cos k(\varphi_2 - \varphi_1), \end{aligned}$$

то

$$K_\xi(\theta) = \sigma_r^2 + \frac{1}{2} \sum_{k=2}^p (m_k^2 + \sigma_k^2) \cos k\theta,$$

где произведена замена переменных $\varphi_2 - \varphi_1 = \theta$.

Дисперсию суммарной погрешности размера и формы получим из $K_\xi(\theta)$ при $\theta = 0$:

$$\sigma_\xi^2 = \sigma_r^2 + \frac{1}{2} \sum_{k=2}^p (m_k^2 + \sigma_k^2).$$

Нормированную корреляционную функцию найдем, разделив $K_\xi(\theta)$ на σ_ξ^2 :

$$r_\xi(\theta) = \frac{2\sigma_r^2 + \sum_{k=2}^p (m_k^2 + \sigma_k^2) \cos k\theta}{2\sigma_r^2 + \sum_{k=2}^p (m_k^2 + \sigma_k^2)}.$$

Как следует из полученных формул, математическое ожидание и дисперсия постоянны, а корреляционная функция зависит от $\theta = \varphi_2 - \varphi_1$, т. е. суммарную погрешность размера и формы можно рассматривать как стационарную случайную функцию.

Определим закон распределения случайной функции. Обозначим $u_k(\varphi) = \cos(k\varphi + \Psi_k)$. Тогда

$$\eta(\varphi) = \sum_{k=2}^p \eta_k(\varphi) = \sum_{k=2}^p c_k u_k(\varphi).$$

Величина c_k распределена по закону Релея, $u_k(\varphi)$ — по закону арксинуса. Распределение $\eta_k(\varphi)$:

$$f(\eta_k) = \frac{1}{\sigma_{0k} \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\eta_k^2}{2\sigma_{0k}^2}\right)$$

является нормальным с математическим ожиданием $m_{\eta_k} = 0$ и дисперсией

$$\sigma_{\eta_k}^2 = \sigma_{0k}^2 = \frac{m_k^2 + \sigma_k^2}{2}.$$

В соответствии с изложенным суммарное распределение погрешности формы также будет нормальным с плотностью распределения:

$$f(\eta) = \frac{1}{\sigma_{\eta} \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\eta^2}{2\sigma_{\eta}^2}\right),$$

с нулевым средним значением $m_{\eta} = 0$ и дисперсией

$$\sigma_{\eta}^2 = \sum_{k=2}^P \sigma_{0k}^2 = \frac{1}{2} \sum_{k=2}^P (m_k^2 + \sigma_k^2).$$

Таким образом, если собственно погрешность размера a_0 , амплитуды c_k и фазы ψ_k независимы и распределены соответственно по законам — нормальному, Релея, равной вероятности в интервале $0; 2\pi$, то суммарная погрешность размера и формы распределена по нормальному закону. Суммарное поле рассеивания этой погрешности

$$\Delta_{\Sigma} = \frac{1}{k_{\xi}} 6\sigma_{\xi}.$$

Выше были получены соотношения для суммарной погрешности размера и формы детали в радиусной форме, удобной для аналитического исследования процесса образования погрешностей.

Установим зависимости между вероятностными характеристиками суммарной погрешности радиуса и диаметра, так как последняя широко применяется при оценке точности обработки цилиндрических поверхностей.

Будем считать, что функция погрешности текущего радиуса

$$\xi(\varphi) = r + u(\varphi) + V(\varphi).$$

Здесь суммы четных и нечетных гармоник обозначены

$$u(\varphi) = \sum_{k=1}^S c_{2k} \cos(2k\varphi + \psi_{2k});$$

$$V(\varphi) = \sum_{k=1}^n c_{2k+1} \cos[(2k+1)\varphi + \psi_{2k+1}].$$

Обозначив через P наибольший порядковый номер гармоник для отклонений формы, будем иметь при P — нечетное число $S = n = \frac{P-1}{2}$, при P — четное

число $S = \frac{P}{2}$; $n = \frac{P-2}{2}$.

Функцию погрешности для текущего диаметра η (φ) в данном поперечном сечении запишем в виде

$$\eta(\varphi) = \xi(\varphi) + \xi(\varphi + \pi) = 2[r + u(\varphi)].$$

Таким образом, при расчете погрешности диаметра учитывают только четные гармоники погрешности формы.

Принимаем, что r , u (φ), V (φ) являются независимыми случайными величинами и функциями для любого фиксированного значения φ .

Тогда для дисперсий σ_ξ^2 и σ_η^2 погрешностей радиуса ξ (φ) и диаметра η (φ) имеем

$$\sigma_\xi^2 = \sigma_r^2 + \sigma_u^2 + \sigma_V^2; \quad \sigma_\eta^2 = 4(\sigma_r^2 + \sigma_u^2).$$

Откуда

$$\frac{\sigma_\eta}{\sigma_\xi} = 2 \sqrt{\frac{\sigma_r^2 + \sigma_u^2}{\sigma_r^2 + \sigma_u^2 + \sigma_V^2}} = 2 \sqrt{\frac{\rho_{\xi r}^2 + \rho_{\xi u}^2}{\rho_{\xi r}^2 + \rho_{\xi u}^2 + \rho_{\xi V}^2}} = 2 \sqrt{1 - \rho_{\xi V}^2} = 2R \frac{\xi}{r, u},$$

где $\rho_{\xi r}$, $\rho_{\xi u}$, $\rho_{\xi V}$ — коэффициенты корреляции между суммарной погрешностью радиуса ξ (φ) и, соответственно, отклонениями собственно размера r формы, характеризующего совокупностью четных u (φ) и нечетных V (φ) гармоник; $R \frac{\xi}{r, u}$ —

коэффициент множественной корреляции между суммарной погрешностью радиуса ξ (φ) и отклонениями r и u (φ). Причем

$$\rho_{\xi r} = \frac{\sigma_r}{\sigma_\xi}; \quad \rho_{\xi u} = \frac{\sigma_u}{\sigma_\xi}; \quad \rho_{\xi V} = \frac{\sigma_V}{\sigma_\xi}.$$

Так как коэффициент множественной корреляции $R \frac{\xi}{r, u} = \sqrt{1 - \rho_{\xi V}^2}$

имеет пределы изменения $0 \leq R \frac{\xi}{r, u} \leq 1$, то $0 \leq \frac{\sigma_\eta}{\sigma_\xi} \leq 2$.

Соотношение между диаметральным Δ_η и радиусным Δ_ξ полями рассеивания суммарной погрешности размеров с учетом отклонений формы цилиндрических поверхностей

$$\frac{\Delta_\eta}{\Delta_\xi} = 2 \frac{K_\xi}{K_\eta} R \frac{\xi}{r, u},$$

где K_ξ , K_η — коэффициенты относительного рассеивания законов распределения погрешностей радиуса и диаметра.

Очевидно, что

$$0 \leq \frac{\Delta_\eta}{\Delta_\xi} \leq 2 \frac{\max K_\xi}{\min K_\eta}.$$

В случае, когда отклонения, характеризующиеся нечетными гармониками, можно не учитывать, имеем

$$\eta(\varphi) = 2\xi(\varphi), \quad f_\eta(\eta) = \frac{1}{2} f_\xi\left(\frac{\eta}{2}\right),$$

$$m_\eta = 2m_\xi, \quad \sigma_\eta = 2\sigma_\xi \quad \text{и} \quad \Delta_\eta = 2\Delta_\xi.$$

В общем случае заданный допуск δ_d на диаметральный размер можно определить из соотношения

$$\delta_d \geq \frac{6K}{K_\Sigma} \sqrt{\sigma_p^2 + \sigma_{п. \phi}^2 + \sigma_{пр. \phi}^2},$$

где K — переводной коэффициент радиусной меры в радиальную (обычно $K = 1,4 \div 2$); K_Σ — коэффициент относительного рассеивания суммарной погрешности; σ_p^2 — дисперсия рассеивания собственно радиального размера; $\sigma_{п. \phi}^2$ и $\sigma_{пр. \phi}^2$ — дисперсия отклонений соответственно поперечного и продольного сечений.

АНАЛИЗ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОБРАБОТКИ

Погрешности обработки, возникающие за счет смещения элементов системы СПИД под действием усилий. Для линейной системы справедлив принцип суперпозиции, поэтому усилие резания представляют в виде суммы конечного числа членов ряда Фурье. Определяют смещения под действием каждой составляющей, затем общий эффект, как сумму частных.

Рассмотрим действие на систему постоянной составляющей усилия резания P_0 . Под влиянием силы P_0 элементы системы СПИД смещаются из исходного (ненагруженного) состояния; возникающие при этом силы упругости стремятся вернуть систему в исходное состояние.

Смещение элемента технологической системы в направлении выдерживаемого размера (эту величину называют отжатием и обозначают через y) и сила упругости находятся в определенном соответствии. В простейшем случае линейной упругой системы способность системы или элемента сопротивляться приложенной статической нагрузке характеризует жесткость упругой системы или ее элемента. Жесткость определяют как отношение составляющей усилия P_{y0} , направленной по нормали к обработанной поверхности, к смещению в том же направлении (в кгс/мм; кгс/ммк; кН/м; Н/мм),

$$j = \frac{P_{y0}}{y(P_0)}.$$

Подразумевают, что на систему одновременно с P_{y0} действуют и другие составляющие (P_{x0} , P_{z0}) усилия резания P_0 . Смещение зависит от P_0 , т. е. $y(P_0)$.

Упругие свойства сложных элементов технологических систем, состоящих из нескольких деталей, обычно невозможно определить одним коэффициентом жесткости, так как зависимость между силой и отжатием (ее называют упругой характеристикой) нелинейная. Но так как при расчетах по точности обычно принимают, что система линейна, то нелинейную характеристику на рабочем диапазоне усилия резания заменяют линейной и принимают $j = \frac{\Delta P_{y0}}{\Delta y(P_0)}$.

Жесткость, упругую характеристику элементов и системы в целом определяют расчетом (для простых деталей) или экспериментально (для сложных узлов). Так как жесткость узла зависит от направления и точки приложения усилия, то исследования проводят в условиях, наиболее полно моделирующих реальные условия последующей обработки: к узлу прикладывают силу, по величине и направлению совпадающую с постоянной составляющей усилия резания, возникающей при обработке, назначают определенный вылет реза, положение пиноли задней бабки. Полученная характеристика позволяет достаточно объективно оценить качество изготовления данного узла. Так, при высокой точности изготовления узла ветви характеристики располагаются ближе одна к другой, чем при низкой точности изготовления. Следует, однако, заметить, что нагружение производят

на неработающем станке, поэтому статическая жесткость не совпадает с действительной жесткостью станка в работе. Используя современную аппаратуру, можно определить смещение на работающем станке под нагрузкой при определенном числе оборотов шпинделя.

По аналогии со статической жесткостью j способность системы или элемента сопротивляться приложенной постоянной составляющей усилия резания P_{y0} при данном числе оборотов шпинделя n характеризуют квазистатической жесткостью

$$j_{\text{кст}}(n) = \frac{P_{y0}}{y(P_0, n)}.$$

Отношение гармонической составляющей силы $P_{yk} \cos k\omega t$ к вызываемому ею смещению $y(P_k, n)$ называют динамической жесткостью $j_{\text{дин}}(k\omega, n) = \frac{P_{yk} \cos k\omega t}{y(P_k, n)}$, где ω — угловая скорость, частота гармонической составляющей усилия резания при $k = 1$, вызванная изменением усилия из-за смещения (эксцентриситета) обрабатываемого профиля.

Угловая (круговая) частота ω представляет собой число колебаний за 2π (рад/с):

$$\omega = 2\pi/\tau = 2\pi\nu,$$

где τ — период колебаний (с) — промежуток времени между двумя последующими максимальными отклонениями; ν — частота колебаний (число колебаний в 1 с, Гц) — величина, обратная периоду колебаний τ :

$$\nu = \frac{1}{\tau}.$$

Смещение элемента системы иногда оценивают угловым перемещением в радианах. В соответствии с этим меняют и размерность жесткости.

В технологических расчетах часто пользуются величиной податливости, определяемой для статических условий как отжатие, вызываемое силой, равной единице, т. е. как величиной обратной жесткости

$$W = \frac{1}{j} = \frac{y}{P_y}.$$

Аналогично устанавливают понятие квазистатической $W_{\text{кст}}$ и динамической $W_{\text{дин}}$ податливости.

Основным недостатком описанного выше понятия жесткости является отсутствие в аналитических зависимостях составляющих усилия P_x, P_z . Поэтому предложено [1] под жесткостью системы СПИД понимать отношение эквивалентной силы P_{Σ} к смещению y в направлении действия этой силы (по нормали к обработанной поверхности):

$$j_{\Sigma} = \frac{P_{\Sigma}}{y}.$$

В общем случае эквивалентная сила может быть выражена через составляющие силы резания с помощью соотношения

$$P_{\Sigma} = \xi P_z + \eta P_y + \gamma P_x,$$

где ξ, η, γ — коэффициенты, показывающие влияние каждой из составляющих силы резания на эквивалентную силу.

Под эквивалентной силой понимают силу, направленную при токарной обработке вдоль резца, по нормали к обработанной поверхности. Момент эквивалентной силы равен сумме моментов всех действующих сил. Плечи сил опре-

деляют относительно мгновенного полюса поворота суппорта с резцом. Положение мгновенного полюса определяют исходя из экспериментально полученных положений суппорта [1]. Положение мгновенного полюса поворота зависит от величины и направления силы резания.

Таким образом, анализ технологической системы как линейной системы с одной степенью свободы не позволяет выявить параметры, достаточно полно характеризующие упругую систему.

Простейшей моделью суппортной группы токарного станка [16] является система с двумя степенями свободы (рис. 1). Считают, что наблюдается слабая связь с остальными элементами системы СПИД. Главные оси жесткости (обобщенные координаты) обозначены через φ и ν . Величинам, относящимся к оси φ , присвоены индексы 1, к оси ν — индексы 2.

Уравнения вынужденных колебаний, вызванных силой P , записывают так:

$$\left. \begin{aligned} m_1 \ddot{\varphi} + h_1 \dot{\varphi} + j_{кст_1} \varphi &= P \cos \beta; \\ m_2 \ddot{\nu} + h_2 \dot{\nu} + j_{кст_2} \nu &= P \sin \beta, \end{aligned} \right\}$$

где m_1 и m_2 — приведенные массы системы; h_1 и h_2 — коэффициенты сил сопротивления (принято, что неупругие сопротивления пропорциональны скорости — $\dot{\varphi}$ и $\dot{\nu}$); $j_{кст_1}$, $j_{кст_2}$ — главные жесткости системы.

Смещение y (выходная координата при анализе низко- и среднечастотных процессов) связана с обобщенными координатами φ и ν следующей зависимостью:

$$y = \nu \cos(\alpha + \beta) - \varphi \sin(\alpha + \beta).$$

Упругую систему станка будем анализировать согласно теории автоматического управления. Рассмотрим основные понятия этой теории и характеристики линейных систем, используемые при последующих выводах.

Пусть имеем систему, поведение которой описывается линейным дифференциальным уравнением с постоянными коэффициентами:

$$\begin{aligned} a_n \frac{d^n y}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y &= b_m \frac{d^m x}{dt^m} + \\ &+ b_{m-1} \frac{d^{m-1} x}{dt^{m-1}} + \dots + b_1 \frac{dx}{dt} + b_0 x, \end{aligned}$$

где x и y — соответственно входная и выходная переменные.

Для такой системы справедлив принцип суперпозиции, поэтому система линейна. Принимаем коэффициенты уравнения постоянными, т. е. имеем стационарную линейную систему. Найдем реакцию этой системы на возмущение $x(t)$, представляющее собой показательную функцию

$$x(t) = e^{St}.$$

Семейство показательных функций e^{St} с комплексным параметром S охватывает гармонические колебания всех возможных частот как с постоянными, так и с изменяющимися во времени по экспоненциальному закону амплитудами.

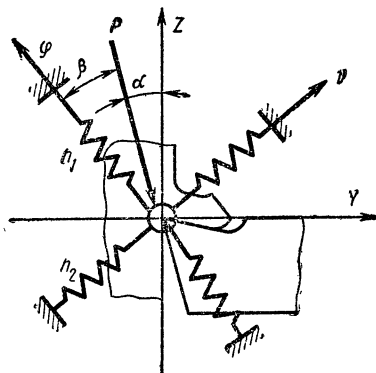


Рис. 1

Дифференцируя, находим

$$\frac{dx}{dt} = S e^{St}, \dots, \frac{d^k x}{dt^k} = S^k e^{St} \quad (k = 1, 2, \dots, m).$$

Из изложенного следует, что

$$a_n \frac{d^n y}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = e^{St} \sum_{k=0}^m b_k S^k.$$

Частный интеграл этого уравнения ищем в виде

$$y = C e^{St},$$

где C — некоторая постоянная.

Тогда имеем

$$C e^{St} \sum_{k=0}^n a_k S^k = e^{St} \sum_{k=0}^m b_k S^k,$$

откуда

$$C = \frac{\sum_{k=0}^m b_k S^k}{\sum_{k=0}^n a_k S^k}.$$

Обозначим

$$\Phi(S) = \frac{\sum_{k=0}^m b_k S^k}{\sum_{k=0}^n a_k S^k},$$

тогда реакция системы на показательное возмущение равна

$$y = \Phi(S) e^{St}.$$

Множитель $\Phi(S)$, на который умножается показательная функция e^{St} , проходя через стационарную линейную систему, называют передаточной функцией системы.

Если система состоит из нескольких элементов, то при последовательном соединении элементов передаточная функция системы равна произведению передаточных функций элементов, при параллельном — их сумме.

Для перехода от передаточной функции к частотной характеристике стационарной линейной системы необходимо принять $S = i\omega$ (i — мнимая единица, ω — круговая частота). Частотная характеристика является комплексной величиной:

$$\Phi(i\omega) = A(\omega) e^{i\varphi(\omega)} = \text{Re}(\omega) + i \text{Im}(\omega),$$

где $A(\omega) = |\Phi(i\omega)|$ — амплитудная частотная характеристика, равная отношению амплитуды выходной координаты к амплитуде входной; $\varphi(\omega)$ — фазовая частотная характеристика — сдвиг фаз выходных гармонических колебаний по отношению к входным гармоническим колебаниям; $\text{Re}(\omega)$ — вещественная часть; $\text{Im}(\omega)$ — мнимая часть.

$$A(\omega) = \sqrt{\text{Re}^2(\omega) + \text{Im}^2(\omega)}; \quad \varphi(\omega) = \text{arctg} \frac{\text{Im}(\omega)}{\text{Re}(\omega)}.$$

Для рассматриваемого элемента суппорта токарного станка (эквивалентной упругой системы по связи с резанием) передаточная функция

$$\Phi_{\text{эус}}(S) = \frac{\sin \beta \cos(\alpha + \beta)}{j_{\text{кст}_2} (T_{1,2}^2 S^2 + T_{2,2} S + 1)} - \frac{\cos \beta \sin(\alpha + \beta)}{j_{\text{кст}_1} (T_{1,1}^2 S^2 + T_{2,1} S + 1)},$$

где $T_i = \sqrt{\frac{m}{j_{\text{кст}}}} = \frac{1}{\omega_{\text{сб}}}$ — инерционная постоянная времени, с; $T_2 = \frac{h}{j_{\text{кст}}}$ — постоянная времени демпфирования, с; $\omega_{\text{сб}}$ — собственная круговая частота колебаний, 1/с; $\omega_{\text{сб}} = 2\pi f_{\text{сб}}$, где $f_{\text{сб}}$ — собственная частота колебаний, Гц.

Частотная характеристика для данного случая

$$\Phi_{\text{эус}}(i\omega) = \text{Re}(\omega) + i\text{Im}(\omega),$$

где

$$\begin{aligned} \text{Re}(\omega) &= \frac{\sin \beta \cos(\alpha + \beta)}{j_{\text{кст}_2}} \frac{1 - T_{1,2}^2 \omega^2}{(1 - T_{1,2}^2 \omega^2)^2 + T_{2,2}^2 \omega^2} - \\ &- \frac{\cos \beta \sin(\alpha + \beta)}{j_{\text{кст}_1}} \frac{1 - T_{1,1}^2 \omega^2}{(1 - T_{1,1}^2 \omega^2)^2 + T_{2,1}^2 \omega^2}; \\ \text{Im}(\omega) &= - \frac{\sin \beta \cos(\alpha + \beta)}{j_{\text{кст}_2}} \frac{T_{2,2} \omega}{(1 - T_{1,2}^2 \omega^2)^2 + T_{2,2}^2 \omega^2} + \\ &+ \frac{\cos \beta \sin(\alpha + \beta)}{j_{\text{кст}_1}} \frac{T_{2,1} \omega}{(1 - T_{1,1}^2 \omega^2)^2 + T_{2,1}^2 \omega^2}. \end{aligned}$$

Амплитудно-фазовую частотную характеристику (АФЧХ) строят в комплексной плоскости (рис. 2).

При приложении постоянной составляющей усилия P_0 (статическое нагружение) следует принять $\omega = 0$, и тогда частотная характеристика равна статической характеристике системы $K_{\text{эус}}$ (отношению смещения $y(P_0)$ к усилию P_0):

$$K_{\text{эус}} = \frac{y(P_0)}{P_0} = \Phi_{\text{эв}}(0) = \text{Re}(0) = \frac{\sin \beta \cos(\alpha + \beta)}{j_{\text{кст}_2}} - \frac{\cos \beta \sin(\alpha + \beta)}{j_{\text{кст}_1}}.$$

На АФЧХ величина $K_{\text{эус}}$ выражается отрезком на вещественной оси Ре при $\omega = 0$. Очевидна связь $K_{\text{эус}}$ и податливости $W_{\text{кст}}$

$$K_{\text{эус}} = W_{\text{кст}} \sin \alpha = \frac{1}{j_{\text{кст}}} \sin \alpha.$$

Здесь

$$W_{\text{кст}} = \frac{1}{j_{\text{кст}}} = \frac{y(P_0)}{P_{y0}}.$$

Во многих случаях при исследовании точности значительный интерес представляет график $A(\omega) = f(\omega)$ — амплитудная частотная характеристика (АЧХ). Частота ω_p (рис. 3, а), при которой АЧХ имеет максимум, называется резонансной частотой системы. При этой частоте гармонические колебания, проходящие через систему, получают наибольшее усиление. В зависимости от свойств системы могут не иметь или иметь одну или несколько резонансных частот (рис. 3, б). Частотой среза ω_c называют частоту, при которой АЧХ, уменьшаясь, переходит от значений, больших 1, к значениям, меньшим 1, и при дальнейшем увеличении

частоты остается меньше 1. Механические системы, таким образом, не одинаково пропускают колебания. При действии очень высоких частот такие системы практически находятся в покое. Полосой пропускания системы называют диапазон частот гармонических колебаний, «пропускаемых» системой, т. е. проходящих через систему с практически заметными колебаниями выходной переменной. Обычно считают полосой пропускания системы диапазон частот, для которого $A(\omega) > 0,05$.

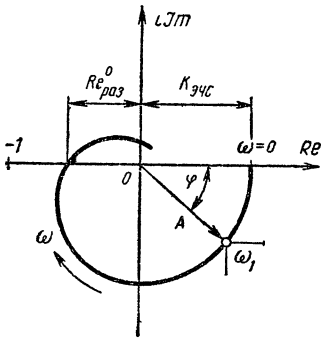


Рис. 2

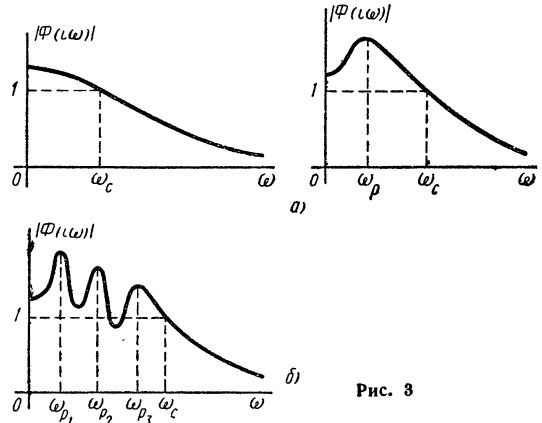


Рис. 3

Исходным положением при анализе является понятие о замкнутости динамической системы станка [16]. Эта замкнутость определяется взаимодействием элементов упругой системы (УС) с рабочими процессами: резания, трения и т. д. Зоны, где протекают рабочие процессы, разделены элементами упругой системы, поэтому вводят понятие об эквивалентных упругих системах. При решении технологических задач рассматривают эквивалентную упругую систему (ЭУС), вклю-

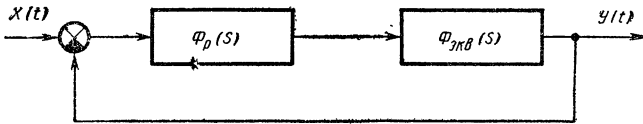


Рис. 4

чающую кроме упругой системы процессы трения и в двигателе, во взаимодействии с процессом резания (рис. 4). Передаточная функция эквивалентной упругой системы обозначена $\Phi_{зуч}(S)$, процесса резания — $\Phi_p(S)$. Передаточная функция разомкнутой системы (разрывается обратная связь)

$$\Phi_{раз}(S) = \Phi_{эв}(S) \Phi_p(S).$$

Для систем с отрицательной обратной связью (передаточной функцией $\Phi_{ос}(S)$) передаточная функция замкнутой системы $\Phi(S)$

$$\Phi(S) = \frac{\Phi_{раз}(S)}{1 + \Phi_{раз}(S) \Phi_{ос}(S)}.$$

Если отрицательная обратная связь жесткая, то $\Phi_{ос}(S) = 1$ и

$$\Phi(S) = \frac{\Phi_{раз}(S)}{1 + \Phi_{раз}(S)}.$$

Амплитудно-фазовая частотная характеристика разомкнутой системы позволяет судить об устойчивости соответствующей замкнутой системы. По критерию Найквиста замкнутая система устойчива, если

$$|\operatorname{Re}_{\text{раз}}^0| < 1,$$

где $\operatorname{Re}_{\text{раз}}^0$ — отрезок, отсекаемый характеристикой разомкнутой системы на отрицательной части вещественной оси (см. рис. 2).

На устойчивость системы существенно влияют вибрационные следы обработки, остающиеся после первого оборота на обрабатываемой поверхности и на поверхности резания. При точении и работе многолезвийным инструментом следы обработки создают дополнительную обратную связь с запаздыванием с передаточной функцией

$$\Phi_{\tau}(S) = e^{-S\tau},$$

вдесь

$$\tau = \frac{60}{nz},$$

где τ — постоянная времени запаздывания; n — частота вращения детали, инструмента; z — число режущих кромок инструмента, для резца $z = 1$.

Размыкая систему по связи с запаздыванием, определим передаточную функцию разомкнутой системы:

$$\Phi_{\text{раз}}^{\tau}(S) = \Phi(S) \Phi_{\tau}(S).$$

Система с запаздыванием устойчива при любом числе оборотов обрабатываемой детали, инструмента, если АФЧХ разомкнутой системы лежит правее прямой $\operatorname{Re} = -0,5$ (рис. 5). Обработка по следам вибраций снижает предельное значение размеров срезаемого слоя не менее, чем в 2 раза. Верхний предел этого уменьшения не ограничен.

В приведенном выше анализе была использована передаточная функция $\Phi_p(S)$, являющаяся динамической характеристикой процесса резания. С помощью этой характеристики устанавливается взаимосвязь между изменением силы от вызвавшего это изменение относительного смещения заготовки и инструмента.

Усилие резания в общем виде можно записать так

$$P = Ct^x s^y,$$

где C — некоторая постоянная; t — глубина резания; s — подача.

Выполним линеаризацию функции $P(t, s)$. Обозначим через t_0 и s_0 значения средней глубины и подачи. Разложим эту функцию в окрестностях точки (t_0, s_0) в ряд Тейлора; считаем отклонения $\Delta t = t - t_0$ и $\Delta s = s - s_0$ малыми, поэтому удерживаем только члены ряда, содержащие отклонения в первой степени:

$$\begin{aligned} P(t, s) &\approx Ct_0^x s_0^y + xCt_0^{x-1} s_0^y (t - t_0) + yCt_0^x s_0^{y-1} (s - s_0) = \\ &= Ct_0^x s_0^y (1 - x - y) + xCt_0^{x-1} s_0^y t + yCt_0^x s_0^{y-1} s. \end{aligned}$$

При принятых условиях, таким образом, можно считать, что усилие резания (или отклонение усилия) линейно зависит от t и s (или Δt , Δs). Значит можно, применяя принцип суперпозиции, проанализировать отдельно влияние t , s , а общий эффект определить как сумму частных.

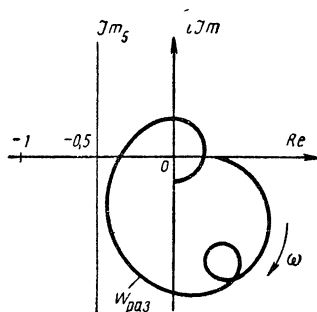


Рис. 5

Пусть на входе системы имеет переменный фактор x , подразумеваем под ним Δt или Δs . На выходе имеет переменную y , в данном случае это отклонение усилия $\Delta P(x)$. Считаем, что зависимость между x и y для процесса резания может быть описана линейным дифференциальным уравнением с постоянными коэффициентами:

$$a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = b_0 x \quad \text{или} \quad T_p \frac{dy}{dt} + y = K_p x,$$

где T_p — постоянная времени стружкообразования [16]; K_p — статическая характеристика процесса резания [16] («жесткость резания» по Соколовскому А. П.); t — время.

Передаточная функция такого элемента

$$\Phi_p(S) = \frac{K_p}{T_p S + 1}.$$

При $S = i\omega$ получим частотную характеристику

$$\Phi_p(i\omega) = \frac{K_p}{T_p^2 \omega^2 + 1} - i \frac{K_p T_p \omega}{T_p^2 \omega^2 + 1}.$$

Очевидно, при $\omega = 0$ динамическая и статическая характеристики процесса резания

$$\Phi_p(0) = K_p = \frac{\Delta P(x)}{x}.$$

Таким образом, величину K_p легко можно определить из общего уравнения $\Delta P(x) = f(x)$.

Выше были рассмотрены основные положения, используемые при аналитическом исследовании систем. Однако из-за большой трудоемкости и сложности таких расчетов часто связь между входом и выходом устанавливают на основе экспериментальных исследований. Нахождение такой связи на основе экспериментальных данных носит название «идентификация» и служит для определения математической модели объекта.

Принципиально можно выделить четыре метода определения математической модели объекта:

- 1) на основе реакции объекта на детерминированный входной сигнал (чаще всего на единичный скачок);
- 2) на основе частотных характеристик, полученных в установившемся состоянии при синусоидальном входном воздействии;
- 3) на основе моделирования реального объекта на вычислительных машинах при дальнейшем уточнении параметров модели заданной структуры;
- 4) на основе корреляционного анализа входа и выхода.

Методы 1 и 2 можно считать классическими, причем первый менее трудоемок. Метод 3 наиболее перспективен.

Конкретные методики исследования динамики технологических систем приведены в работах [16, 26].

При ориентировочных расчетах по точности обычно используют величины j и W , которые определяют свойства статически нагруженной, неработающей системы. Величины, характеризующие статическую жесткость j , податливость W металлорежущих станков, даны в табл. 17.

Колебание откатий системы определяют по приближенной формуле

$$\Delta y = y_{\max} - y_{\min} = W_{\max} P_{y \max} - W_{\min} P_{y \min},$$

где W_{\max} , W_{\min} — наибольшая и наименьшая податливость системы; $P_{y \max}$, $P_{y \min}$ — максимальное и минимальное значение составляющей усилия резания, совпадающей с направлением выдерживаемого размера.

17. Смещения (отжатия) узлов металлорежущих станков под нагрузкой

Автоматы токарно-револьверные одношпиндельные прутковые,
ГОСТ 19100—72

Наибольший диаметр обрабатываемого прутка, мм	12	18	25	40	65
Наибольшее смещение системы шпиндель—передний поперечный суппорт ¹ , мкм	320	380	450	550	700
Сила, кгс	200	280	400	560	800
Наибольшее смещение системы шпиндель-револьверная головка ² , мкм	110	130	160	200	250
Сила, кгс	70	100	140	200	280

¹ Нагружение силой, направленной под углом 60° к поперечной подаче.
² Угол между проекцией силы на горизонтальную плоскость и направлением поперечной подачи 30°, а также направлением самой силы 30°.

Данные для автоматов класса точности Н. Для автоматов класса точности П нагрузку уменьшают в 1,25 раза, допустимое смещение — в 1,6 раза по сравнению с приведенными в таблице.
При испытаниях в заднем поперечном суппорте наибольшее смещение увеличивают на $\frac{1}{3}$.

Станки токарные и токарно-винторезные, ГОСТ 18097—72

Наибольший диаметр обрабатываемой детали, мм		100	125	160	200	250	320	400	500	630	
Наибольшее смещение, мкм	шпинделя-резцедержателя	Н П	40 25	50 30	70 40	100 60	130 80	160 100	200 130	270 180	350 220
	шпинделя-пиноли задней бабки	Н П	50 30	70 40	100 60	130 80	160 100	200 130	270 170	350 220	470 300
Сила, кгс		Н Г	70 56	100 80	140 112	200 160	280 224	400 320	560 448	800 640	1120 896
	Наибольший диаметр обрабатываемой детали, мм		800	1000	1250	1600	2000	2500	3200	4000	
Наибольшее смещение, мкм	шпинделя-резцедержателя	Н П	470 300	600 400	800 500	1150 —	1400 —	1800 —	2300 —	3000 —	
	шпинделя-пиноли задней бабки	Н П	600 400	800 500	1050 650	1400 —	1800 —	2300 —	3000 —	3800 —	
Сила, кгс		Н П	1600 1280	2240 1792	3150 2520	4500 —	6300 —	9000 —	12 500 —	25 000 —	

Для станков класса точности П требования рекомендованные.

Продолжение табл. 17

Станки токарно-револьверные, ГОСТ 17—70								
Наибольший диаметр обрабатываемого прутка, мм	при зажимной и подающей трубах	12	18	25	40	65	100	160
	при переднем зажиме	—	—	32	50	80	125	200
Наибольшее перемещение, мкм: системы шпиндель—поперечный суппорт		—	—	220	260	310	310	450
при силе ¹ , кгс		—	—	400	560	800	1120	1600
системы шпиндель—револьверная головка		60	70	80	90	110	130	160
при силе ² , кгс		70	100	140	200	280	400	560
¹ Угол между силой и направлением поперечной подачи 30°. ² Угол между проекцией силы на горизонтальную плоскость и направлением поперечной подачи 30°; между этой проекцией и самой нагружающей силой 60°. Наибольшее перемещение для станков с ручным зажимом и поворотом револьверной головки уменьшают на 40%; для станков с горизонтальной осью вращения револьверной головки увеличивают на 20%; для станков, имеющих револьверную головку со станков предыдущего меньшего размера и промежуточные салазки продольного суппорта, увеличивают на 30%. Для станков класса точности П нагрузку уменьшают в 1,25 раза, а наибольшее допустимое перемещение — в 1,6 раза.								
Станки токарно-карусельные, ГОСТ 44—72								
Наибольший диаметр обрабатываемой детали, мм	Относительное перемещение под нагрузкой планшайбы и оправки, закрепленной в резцедержателе верхнего суппорта, мкм	Нагрузка, кгс	Наибольший диаметр обрабатываемой детали, мм			Относительное перемещение под нагрузкой планшайбы и оправки, закрепленной в резцедержателе верхнего суппорта, мкм	Нагрузка, кгс	
800	500	1500	8 150	1000	4 250			
1000	560	1800	4 000	1100	5 000			
1250	630	2120	5 000	1200	6 000			
1600	710	2500	6 300	1400	7 100			
2000	800	3000	8 000	1600	8 500			
2500	900	3550	10 000	1800	10 000			
Данные относятся к станкам класса точности Н. Для станков класса точности П нагрузки уменьшаются в 1,25 раза; допустимые перемещения — в 1,6 раза. Угол между проекцией силы на горизонтальную плоскость и следом вертикальной плоскости, перпендикулярной плоскости портала, 60°. Угол между направлением силы и ее проекцией на горизонтальную плоскость 30°. Испытания проводят при определенных расстояниях от рабочей поверхности планшайбы и кромок суппортов до точки приложения силы.								

Продолжение табл. 17

<i>Станки токарные многорезцовые и многорезцовые копировальные горизонтальные полуавтоматические, ГОСТ 14775—74</i>					
Наибольший диаметр детали, мм		320	400	500	
Наибольшее смещение, мкм	продольного суппорта-шпинделя	160 (110) *	240 (150)	360 (220)	
	продольного суппорта-пиноли задней бабки	200 (120)	300 (190)	450 (280)	
	поперечного суппорта-шпинделя	320 (200)	480 (300)	710 (450)	
Сила, кгс		600 (480)	1000 (800)	1600 (1250)	
Нагружение силой, направленной под углом 60° к поперечной подаче.					
* В скобках приведены значения для станков класса точности П; вне скобок Н.					
<i>Полуавтоматы токарные многошпиндельные патронные вертикальные, ГОСТ 12110—72</i>					
Наибольший диаметр обрабатываемой детали, мм		До 250	Св. 250 до 400	Св. 400 до 630	Св. 630
Наибольшее смещение, мкм	одного из суппортов — шпинделей	60	80	100	100
	каждого продольного суппорта—шпинделя	200	240	280	320
	каждого поперечного суппорта — шпинделя наименьшей жесткости	280	320	400	450
Сила, кгс		1000	1400	2000	2400
Угол между проекцией силы на горизонтальную плоскость и поперечной подачей 60°, направлением силы 30°.					
<i>Полуавтоматы токарные многошпиндельные патронные горизонтальные, ГОСТ 14756—69</i>					
Наибольший диаметр патрона, мм		130	160	200	250
Наибольшая разность смещений первого поперечного суппорта и произвольного шпинделя станка, мкм		60	80	100	120

Продолжение табл. 17

Наибольшее смещение системы поперечный суппорт — оправка со шпинделем наименьшей жесткости, мкм	180	210	250	300			
Сила, кгс	130	160	200	250			
<p>Нагружение силой, направленной под углом 60° к поперечной подаче. Величины смещений относятся к станкам класса Н, для станков класса точности П испытания проводят при нагружении силой в 1,25 раза меньшей, чем для станков класса Н, при этом величины перемещений меньше в 1,6 раза.</p>							
<i>Станки долбежные, ГОСТ 26—67</i>							
Наибольшая длина хода долбяков, мм	100	200	320	500	700	1000	1400
Наибольшее перемещение системы долбяк — стол, мкм	240	300	380	480	600	750	950
Сила, кгс	335	670	1060	1500	2120	3000	4250
<p>Нагружение силой, направленной под углом 30° к вертикали. Испытания проводят при определенных расстояниях от плоскости стогла-нижнего конца направляющих долбяков и от нижней опорной поверхности резцедержавки до точки приложения силы.</p>							
<i>Станки поперечно-строгальные, ГОСТ 16—71</i>							
Наибольший ход ползуна, мм	200	320	500	700	1000		
Наибольшее смещение системы ползун—стол, мкм: в вертикальном направлении	400	500	630	750	900		
	600	750	950	1120	1320		
в направлении горизонтальной подачи стола							
Сила, кгс	400	630	1000	1400	2000		
<p>Угол между проекцией силы на горизонтальную плоскость и направлением движения ползуна 30°; направлением силы 30°. Испытания проводят при определенном вылете оправки и соблюдении расстояний от опорной поверхности резцедержателя до станины и от рабочей поверхности стола до точки приложения силы.</p>							

Продолжение табл. 17

Станки продольно-строгальные, ГОСТ 35—73							
Наибольшая ширина обрабатываемого изделия, мм	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
Наибольшее допустимое перемещение системы стол—суппорт в направлении, мкм: вертикальном горизонтальной подачи	280	340	400	480	560	670	800
	710	850	1000	1180	1400	1700	2000
Сила, кгс	2120	2650	3350	4250	5300	6700	8500
<p>Данные распространяются на универсальные двухстоечные продольно-строгальные станки класса точности Н.</p> <p>Угол между проекцией силы на горизонтальную плоскость и направлением горизонтальной подачи стола 30°, направлением силы 30°.</p> <p>Для одностоечных станков наибольшие допускаемые перемещения увеличивают на 15% по сравнению с двухстоечными того же размера.</p> <p>Для станков класса точности П нагрузка уменьшается в 1,25 раза, допускаемое перемещение — в 1,6 раза по сравнению с табличным.</p> <p>Испытания проводят при определенных расстояниях от рабочей поверхности стола и нижней кромки суппорта до точки приложения силы.</p>							
Станки вертикально-сверлильные, ГОСТ 370—67							
Наибольший диаметр сверления, мм	18	25	35	50	75		
Допустимая неперпендикулярность оси нагруженного шпинделя к рабочей поверхности стола, мм: в продольной плоскости на радиусе	200 * (130)	250 (170)	300 (200)	350	400		
	100	125	150	175	200		
Наибольшее осевое смещение системы шпиндель — стол, мкм	600 (400)	900 (600)	1300 (900)	2000 —	3000 —		
Сила, кгс	450 (360)	750 (600)	1250 (1000)	2000 —	3200 —		
<p>Величины смещений относятся к нагруженной системе силой, направленной по оси шпинделя.</p> <p>* Соответственно для станков Н (П).</p>							

Продолжение табл. 17

Станки радиально-сверлильные, ГОСТ 98—71								
Наибольший условный диаметр сверления, мм	25	35	50	75	100			
Наибольшее допустимое осевое перемещение системы сверления головки—фундаментная плита, мм	1,5r (r — расстояние между осями колонны и шпинделя, м)							
Сила, кгс	800	1250	2000	3200	5000			
Нагружение силой, направленной по оси шпинделя; рукав находится в среднем положении по высоте, сверлильная головка передвинута от колонны на $\frac{2}{3}$ наибольшего перемещения								
Станки круглошлифовальные бесцентровые, ГОСТ 13510—68								
Наибольший диаметр устанавливаемой детали, мм	6	25	80	160	320			
Наибольшее допускаемое смещение системы шпинделей шлифовального и ведущего кругов, мкм	20	40	60	80	100			
Сила, кгс	15	36	100	180	380			
Нагружение силой, направленной через центры кругов. Для станков с консольным расположением кругов смещение меньше на 25%.								
Станки круглошлифовальные, ГОСТ 11654—72								
Наибольший диаметр устанавливаемой детали, мм	100	140	200	280	400	560	800	
Наибольшее допускаемое смещение системы шпиндель шлифовальной бабки — шпиндель передней бабки (или пиноль задней бабки), мкм	Станки с поворотной шлифовальной и передней бабками	50 (8) *	60 (12)	70 (18)	80 (26)	90 (40)	110 (60)	—
	Станки с неповоротными бабками	60 (18) *	70 (26)	90 (40)	110 (60)	130 (90)	150 (132)	180 (200)
* В скобках указана нагрузка в кгс.								
Данные относятся к станкам класса точности П. Для станков классов точности В и А нагрузка уменьшается в 1,25 и 1,6 раза, а смещение — в 1,6 и 2,5 раза.								

Продолжение табл. 17

<i>Станки плоскошлифовальные с крестовым столом и горизонтальным шпинделем, ГОСТ 273—67</i>							
Наибольшая ширина устанавливаемой детали, мм	До 125		Св. 125 до 200		Св 200		
Наибольшее смещение системы стол—шпиндель (мкм) для станков класса точности В (А)	40 (20)		50 (25)		63 (30)		
Сила, кгс	40 (20) *		50 (25)		63 (30)		
* Для станков класса точности В (А). Нагружение силой, направленной под углом 20° к вертикали.							
<i>Станки плоскошлифовальные с круглым столом и вертикальным шпинделем, ГОСТ 10600—74</i>							
Диаметр магнитного стола, мм	До 500		Св. 500 до 1000		Св. 1000 до 1600		
Наибольшее угловое перемещение системы планшайба круга—стол (в мкм) на 100 мм длины, мкм	50		40		30		
Наибольшее вертикальное смещение системы планшайба—стол, мкм	60		80		100		
Сила, кгс	250		360		500		
Нагружение вертикальной силой. Данные для станков класса точности П. Для станков класса точности В нагрузка уменьшается в 1,25 раза, а перемещение — в 1,6 раза.							
<i>Станки продольношлифовальные, ГОСТ 13135—72</i>							
Наибольшая ширина обрабатываемой детали, мм	320	400	500	630	800	1000	1250
<i>Станки с горизонтальным шпинделем</i>							
Наибольшее смещение системы стол—шпиндель, мкм	140 (50)	160 (60)	180 (70)	200 (80)	220	250	280
Сила, кгс	125 (80)	170 (106)	225 (140)	300 (190)	375	530	710

Продолжение табл. 17

Станки двухстоечные с вертикальным шпинделем								
Наибольшее смещение системы планшайба круга—стол мкм: угловое на длине 100 мм	—	—	—	—	90	70	60	
	вертикальное	—	—	—	220	250	280	
<p>Нагружение станков с горизонтальным шпинделем силой, направленной под углом 20° к вертикали, других станков — по нормали к плоскости стола у края диска. Числа в скобках относятся к станкам класса А, остальные — класса П.</p>								
Станки внутришлифовальные, ГОСТ 13097—70								
Наибольший диаметр шлифуемого отверстия, мм		25	50	100	200	400	800	
Наибольшее смещение, мкм	П ¹	60	70	80	100	120	140	
	В	40	50	50	60	80	90	
	А	30	30	30	40	50	60	
Сила, кгс	П	10	16	25	40	60	100	
	В	8	12	20	32	48	80	
	А	6	10	16	25	40	60	
<p>¹ П, В, А — классы точности станков.</p>								
Станки фрезерные консольные, ГОСТ 17734—72								
Ширина стола, мм	Класс точности станка	Нагрузка, кгс	Допуск на относительное перемещение под нагрузкой, мкм	Ширина стола, мм	Класс точности станка	Нагрузка, кгс	Допуск на относительное перемещение под нагрузкой, мкм	
200	Н	500	360	400	Н	2000	750	
	П	400	220		П	1600	480	
250	Н	800	480		500	Н	3150	950
	П	630	300			П	2500	600
320	Н	1250	600					
	П	1000	380					
<p>Угол между проекцией силы на горизонтальную плоскость и направлением продольной подачи стола 40°, а также направлением силы 30°. Угол между проекцией силы на вертикальную плоскость и направлением продольной подачи стола 37°.</p>								

Погрешность установки заготовок в приспособлениях. При обработке заготовок способом партионной настройки их устанавливают в приспособлениях; процесс установки включает базирование и закрепление. При базировании заготовке придают определенное положение, неизменность этого положения в процессе обработки обеспечивают закреплением.

Вследствие погрешности выполнения базовой поверхности заготовок, неточности изготовления и износа опорных элементов приспособления, нестабильности усилия закрепления положение заготовок в приспособлениях будет разным. Погрешность обработки, возникающую по указанным причинам, называют погрешностью установки $\Delta \varepsilon_y$.

Поверхности заготовок, от которых заданы выдерживаемые размеры, называют *измерительными*; поверхности, с помощью которых ориентируют заготовки при установке в приспособления — *базовыми*; поверхности, проходящие через точки контакта базовой поверхности заготовки с опорами приспособления, — *установочными*. В зависимости от принятой схемы базирования последняя может быть плоскостью (установка на три опоры), линией (установка вала на центра), точкой (установка шара на плоскую опору).

Погрешность установки заготовки в приспособлениях $\Delta \varepsilon_y$ вычисляют с учетом погрешностей: базирования $\Delta \varepsilon_6$, закрепления $\Delta \varepsilon_3$ заготовок, изготовления и износа опорных элементов приспособлений $\Delta \varepsilon_{пр}$. Погрешность установки определяют как предельное поле рассеивания положений измерительной поверхности относительно поверхности отсчета в направлении выдерживаемого размера.

Так как указанные выше погрешности являются случайными величинами:

$$\Delta \varepsilon_y = \sqrt{\Delta^2 \varepsilon_6 + \Delta^2 \varepsilon_3 + \Delta^2 \varepsilon_{пр}}$$

Погрешность приспособления не связана с процессом установки заготовок в приспособлениях, поэтому часто ее учитывают при расчетах точности отдельно. Тогда

$$\Delta \varepsilon_y = \sqrt{\Delta^2 \varepsilon_6 + \Delta^2 \varepsilon_3}$$

При укрупненных расчетах по точности обработки погрешность $\Delta \varepsilon_y$, соответствующую последней формуле, можно определять по данным табл. 18—22.

В процессе установки заготовок для обработки с выверкой возникает погрешность установки $\Delta \varepsilon_{y-в}$ из-за неточности выверки по разметочным рискам или непосредственно по поверхностям заготовки. Погрешность $\Delta \varepsilon_{y-в}$ может охватывать и погрешность закрепления. В табл. 23 и 24 эта погрешность дана как одна величина.

Погрешность базирования $\Delta \varepsilon_6$ возникает в процессе базирования заготовок в приспособлениях и определяется как предельное поле рассеивания расстояний между измерительной и установочной поверхностями в направлении выдерживаемого размера. Приближенно $\Delta \varepsilon_6$ можно оценить величиной размаха — разностью между наибольшим и наименьшим значениями указанного расстояния.

Величина $\Delta \varepsilon_6$ зависит от принятой схемы базирования и точности выполнения базовой поверхности заготовок, включая отклонения размера, формы и взаимного расположения поверхностей. Значение погрешности базирования $\Delta \varepsilon_6$ определяют соответствующими геометрическими расчетами или анализом размерных цепей, что дает в ряде случаев более простое решение задачи. Так, при сверлении по кондуктору отверстий в деталях, установленных на призме (рис. 6), заданный размер

$$h = H - \frac{D}{2} \left(\frac{1}{\sin \alpha} - 1 \right),$$

где D — диаметр базовой поверхности.

Если обозначить независимые между собой факторы через $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$, то в общем случае имеем

$$Y = F(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n).$$

Погрешность параметра Y вычисляют по формуле

$$\Delta \approx \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial F}{\partial X_i} \right)^2 \bar{X}_i (K_i \Delta X_i)^2},$$

где K_i — коэффициент относительного рассеивания (см. стр. 39); ΔX_i — поле рассеивания параметра X_i .

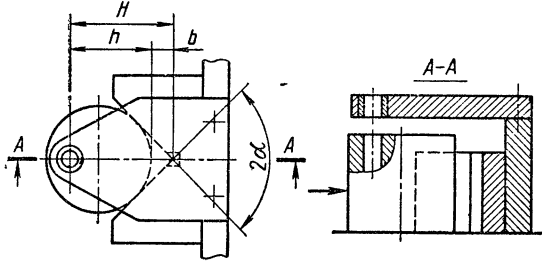


Рис. 6

Индексы при частных производных \bar{X}_i показывают, что берут значения производных при X_i , равные их среднему значению \bar{X}_i или математическому ожиданию MX_i .

Воспользуемся последним уравнением для расчета погрешности базирования. Принимая $H = \text{const}$ (расстояние до оси кондукторной втулки), получим

$$\Delta \varepsilon_6(h) = \frac{\Delta D}{2} \left(\frac{1}{\sin \alpha} - 1 \right),$$

где ΔD — поле рассеивания размера D , равное примерно допуску на этот размер δ_D .

Заметим, что в общем случае погрешность базирования следует определять исходя из пространственной схемы расположения детали. Однако такой анализ весьма сложен. Поэтому в целях упрощения расчетов (см. рис. 6) ограничиваются рассмотрением смещений только в одной плоскости (плоская схема расчета).

Часто при расчетах $\Delta \varepsilon_6$ учитывают только отклонения размеров заготовок, тогда необходимо принять, что установочная и базовая поверхности совпадают. Если при этом данные поверхности совпадают и с измерительной, то $\Delta \varepsilon_6 \approx 0$. Для других схем базирования погрешность базирования может быть определена по табл. 25.

Основные принципы базирования заготовок. 1. При высоких требованиях к точности обработки необходимо выбирать такую схему базирования, которая обеспечивает наименьшую погрешность $\Delta \varepsilon_6$.

2. Для повышения точности деталей и собранных узлов необходимо применять принцип совмещения баз — совмещать базовую, измерительную и сборочные поверхности.

3. Целесообразно соблюдать принцип постоянства базы. При перемене баз в ходе технологического процесса точность обработки снижается из-за погрешности взаимного расположения новых и применявшихся ранее базовых поверхностей.

18. Погрешности установки заготовок в патронах и на оправках без выверки

Установочный патрон или оправка	Класс точности выполнения базовой поверхности заготовок	Погрешность установки для направления, мкм	
		радиального	осевого
Цанговые оправки при диаметрах установочной поверхности в мм: до 50 св. 50 до 200	2—3	10—35* 20—60	20 50
Трехкулачковые патроны с сырыми кулачками или разрезными втулками при диаметрах до 120 мм	При зазоре до закрепления 0,02—0,10 мм	10—30	10—120
Двухкулачковые патроны при диаметре детали 200 мм: с винтами с рейками	4—5	100—200 20—60	50—100 15—40
Цилиндрические оправки с гайками (установка на оправку с зазором)	3—4	В пределах допуска зазора	10
Конические оправки при отверстии длиной не менее 1,5 <i>d</i>	2	30	Определяется размерами деталей и оправок
Патроны и оправки: с упругими втулками и гидропластмассой при <i>l</i> : до 0,5 <i>d</i> св. 3,0 <i>d</i> с пластинчатыми (тарельчатыми) пружинами с упругими втулками и роликами, опирающимися на тела, имеющими форму гиперболоида вращения Мембранные патроны Патроны и оправки с упругими элементами гофрированного типа	2—3 2—4 2—2а 2—3 1—2	3—10 10—20 10—20 3—8 3—5 2—5	— — — — — —

Примечания: 1. Применение пневматических и гидравлических силовых узлов позволяет уменьшить погрешность установки на 20—40%.
2. Погрешности установки заготовок в цанговом и трехкулачковом патронах см. табл. 19.
3. Обработку с использованием сырых кулачков и втулок применяют при партии деталей не более 80—120 шт.

19. Погрешности установки заготовок в цанговом и трехкулачковом патронах без выверки, мкм

Состояние базовой поверхности заготовки	Направление смещения заготовки	Диаметр базовой поверхности, мм											
		Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 260	Св. 260 до 500			
Шлифованная контрольная оправка, установленная в новом патроне	Радиальное ¹	15—20	15—40	20—45	25—50	30—75	—	—	—	—	—	—	—
	Осевое	50	60	70	90	100	120	—	—	—	—	—	—
Прутки, калиброванные по 5-му классу точности	Радиальное	30	40	50	60	70	80	—	—	—	—	—	—
	Осевое	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Прутки горячекатаные: повышенной точности	Радиальное	100	120	150	200	300	450	650	—	—	—	—	—
	Осевое	70	80	100	130	200	300	420	—	—	—	—	—
обычной точности	Радиальное	—	200	220	280	400	500	800	—	—	—	—	—
	Осевое	—	130	150	190	250	350	520	—	—	—	—	—
Шлифованная (единичная заготовка)	Радиальное	20	20	30	30	40	50	40	50	—	—	—	—
	Осевое	10	10	15	15	25	30	25	30	—	—	—	—
Чисто обработанная (единичная заготовка)	Радиальное	30	30	50	50	80	100	100	120	—	—	—	—
	Осевое	100	100	150	150	200	250	300	400	—	—	—	—
Литая по выплавляемым моделям или в оболочковую форму; предварительно обработанная поверхность	Радиальное	200	200	300	300	400	400	400	500	—	—	—	—
	Осевое	80	80	100	100	120	120	120	150	—	—	—	—
Литая в металлическую форму; штамповка на кривошипном прессе	Радиальное	200	200	300	300	400	400	400	500	—	—	—	—
	Осевое	80	80	100	100	120	120	120	150	—	—	—	—

Установка в цанговом патроне

Установка в трехкулачковом самоцентрирующемся патроне

¹ Приведенные величины радиального биения проверяют соответственно на расстоянии от торца: 25; 50; 75—100; 100; 150—200 мм.

Примечания: 1. При установке в цанговых патронах единичных заготовок вместо прутковых погрешности установки в осевом направлении увеличивается на 10—30 мкм.

2. При неподвижной цапге смещение в осевом направлении минимально (5—20 мкм)

3. Поджатием деталей при закреплении в патронах погрешности установки можно уменьшить на 20—30%

4. В патронах с пневматическими и гидравлическими силовыми узлами погрешность установки уменьшается на 20—40% по сравнению с указанными величинами.

20. Точность токарных патронов общего назначения, ГОСТ 1654—71

Самодетрирующие патроны																				
Диаметры патронов, мм	Предельные значения допускаемой неуравновешенности, гс·см				Радиальное биение контрольной оправки, зажатой в прямых кулачках патрона, мкм				Размеры оправки, мм				Биение контрольного кольца, зажатого внутренними ступенями обратных кулачков и наружными, мкм							
	A		B		A		B		A		B		A		B		A		B	
	A	B	Π	H	A	B	Π	H	A	B	Π	H	A	B	Π	H	A	B	Π	H
80	11	18	28	45	20	30	50	60	8;	12;	15	40	20	30	50	60	10	20	30	40
100	16	25	40	63	20	30	50	60	12;	16;	18	40	20	30	50	60	10	20	30	40
125 (130*)	23	35	56	90	20	30	50	80	16;	20;	28	50	20	30	50	50	15	30	40	60
160	32	50	80	125	25	40	60	80	20;	24;	40	50	25	40	60	80	20	40	60	80
200	45	71	112	180	25	40	60	100	25;	32;	45	80	25	40	60	100	20	40	60	80
250	63	100	160	250	30	50	80	100	32;	50;	55	80	30	50	80	100	20	40	60	80
315 (320)	90	140	224	355	30	50	80	120	50;	80;	100	120	30	50	80	120	20	40	50	80
400	140	200	310	500	40	60	100	120	50;	80;	100	120	40	60	100	120	20	40	50	80
500	200	250	420	710	50	80	100	160	55;	80;	125	160	50	80	120	160	20	40	50	80
630	250	400	600	1000	50	80	120	160	55;	80;	125	160	50	80	120	160	20	40	50	80

Патроны с независимым перемещением кулачков																
Диаметры патронов, мм	Торцовое биение контрольного кольца, зажатого внутренними и наружными ступенями патронов				Неплоскостность передней поверхности патронов											
	A		B		A		B		A		B		A		B	
	A	B	Π	H	A	B	Π	H	A	B	Π	H	A	B	Π	H
160; 200									20	30	50					
250; 315 (320)	30	80	120	200	25	40	60									
400					30	50	80									
500; 630; 800	40															
1000; 1200	60	100	160	250												

Примечания: 1. А, В, Π, Н — классы точности патронов.
 2. При новом проектировании патронов размеры, заключенные в скобки, не применять.
 3. При проверке биения за результаты принимают среднее арифметическое биение трех отправок.

* 30

21. Погрешность установки заготовок в приспособления на опоры, мкм

Состояние базовой поверхности заготовок	Опоры											
	Постоянные						Пластины					
	Наибольший размер заготовки по нормали к обработанной поверхности, мм											
	6—10	10—18	18—30	30—50	50—80	80—120	6—10	10—18	18—30	30—50	50—80	80—120
<i>Приспособления с винтовыми или эксцентриковыми зажимами</i>												
Шлифованная	60	70	80	90	100	110	20	30	40	50	60	70
Чисто обработанная, литая под давлением	70	80	90	100	110	120	30	40	50	60	70	80
Предварительно обработанная, литая по выплавляемым моделям или в оболочковые формы	80	90	100	110	120	130	40	50	60	70	80	90
Литая в металлическую форму	—	100	110	120	130	140	55	60	70	80	90	100
Литая в песчаную форму машинной формовки по металлическим моделям, штампованная, горячекатаная	90	100	125	150	175	200	90	100	110	120	135	150
<i>Приспособления с пневматическим приводом</i>												
Шлифованная	35	40	50	55	60	70	15	20	25	30	40	50
Чисто обработанная, литая под давлением	55	60	65	70	80	100	25	30	35	40	50	60
Предварительно обработанная литая по выплавляемым моделям или в оболочковые формы	65	70	75	80	90	110	35	40	50	55	60	70
Литая в металлическую форму	—	80	90	100	110	120	50	55	60	65	70	80
Литая в песчаную форму машинной формовки по металлическим моделям штампованная, горячекатаная	70	90	100	120	140	160	70	80	90	100	110	120

22. Погрешность установки заготовок размером до 60 мм в тисках

Тиски	Метод установки	Смещение заготовок
Винтовые	На подкладке в свободном состоянии На подкладке с постукиванием при зажиме	100—200 50—80
Эксцентрикковые	С подкладкой Без подкладки	40—100 30—50

Примечание. При соблюдении постоянства зажимной силы величина погрешности уменьшается на 30—50%.

23. Погрешности установки заготовок на станках с выверкой по цилиндрической поверхности

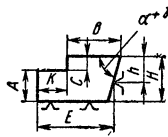
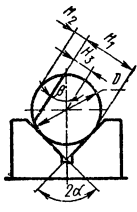
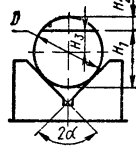
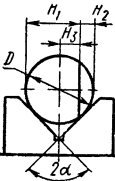
Способ установки	Метод выверки	Погрешность установки деталей, мм		
		мелких	средних	крупных
На центрах и регулируемых крестовинах	С двух концов в вертикальной и горизонтальной плоскостях и на биение			
В четырехкулачковом патроне и на заднем центре	Со стороны патрона по высоте и на биение			
В четырехкулачковом патроне и неподвижном люнете	С двух концов в двух плоскостях и на биение	$\frac{0,5-1,0}{0,02-0,4}$	$\frac{1,0-1,5}{0,03-0,06}$	$\frac{2,0-3,0}{0,05-0,08}$
В четырехкулачковом патроне	По наружному или внутреннему диаметру и торцу			
На угольнике, по разметке	По диаметру и торцу			

Примечание. Величины погрешностей, приведенные в числителе, относятся к выверке иглой по необработанной (большие значения) или грубообработанной (меньшие значения) поверхности. В знаменателе даны величины погрешностей выверки индикатором по поверхности, обработанной чистовым точением.

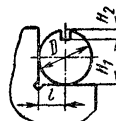
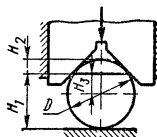
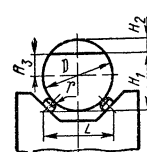
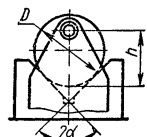
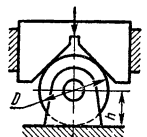
24. Погрешность установки заготовок на столе станка с выверкой по плоской поверхности, мм

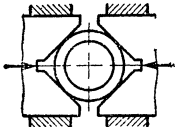
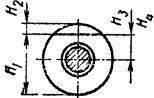
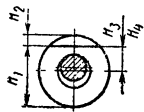
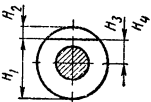
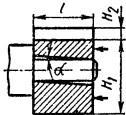
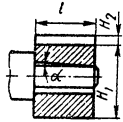
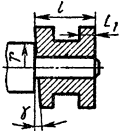
Метод выверки	Размеры поверхности, м			
	До 1	Св. 1 до 3	Св. 3 до 6	Св. 6
По разметке иглой	0,5	1	2	3
По предварительно обработанной поверхности индикатором	0,15	0,2	0,4	0,6
По чисто обработанной поверхности индикатором	0,05	0,08	0,10	0,15

25. Погрешность базирования при обработке деталей в приспособлениях

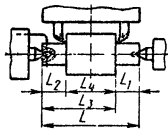
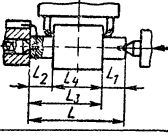
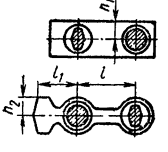
№ схемы	Базирование	Схема установки	Валер-живаемый размер	Погрешность базирования $\Delta \epsilon$
1	По двум плоскостям Обработка уступа		A	0
			B	$\delta_h \operatorname{tg} \gamma$ при $\alpha \neq 90^\circ$ 0 при $\alpha = 90^\circ$
			C	δ_H
			K	δ_E
2	По наружной цилиндрической поверхности В призме при обработке плоскости или паза		H_1	$0,5\delta_D \left(\frac{\sin \beta}{\sin \alpha} - 1 \right)$ при $\beta = \alpha \pm 90^\circ$ $0,5\delta_D \left(1 - \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} \right)$ при $\beta = 0 \pm \alpha$
			H_2	$0,5\delta_D \left(\frac{\sin \beta}{\sin \alpha} + 1 \right)$
			H_3	$0,5\delta_D \frac{\sin \beta}{\sin \alpha}$ δ_D — допуск на наружный диаметр заготовки
3	То же, при $\beta = 90^\circ$		H_1	$0,5\delta_D \left(\frac{1}{\sin \alpha} - 1 \right)$
			H_2	$0,5\delta_D \left(\frac{1}{\sin \alpha} + 1 \right)$
			H_3	$0,5\delta_D \frac{1}{\sin \alpha}$
4	То же, при $\beta = 0^\circ$		H_1	0,5 δ_D
			H_2	0,5 δ_D
			H_3	0

Продолжение табл. 25

№ схемы	Базирование	Схема установки	Выдер-живаемый размер	Погрешность базирования $\Delta \varepsilon_{\delta}$
5	То же		l H_1 H_2	$0,5\delta_D$ 0 δ_D
6	То же, при $2\alpha = 180^\circ$ и зажиме призмой		H_1 H_2 H_3	0 δ_D $0,5\delta_D$
7	То же, но призма выполнена со сферическими опорами		H_1 H_2 H_3	$A - 0,5\delta_D$ $A + 0,5\delta_D$ $A = \sqrt{(r + 0,5D \min + \dots + 0,5\delta_D^2)^2 - 0,5L^2} - \sqrt{(r + 0,5D \min)^2 - \dots - 0,25L^2}$ <p>где L — расстояние между центрами опор</p>
8	В призме при сверлении отверстий по кондуктору		h	$0,5\delta_D \left(\frac{1}{\sin \alpha} - 1 \right)$ при $h > 0,5D$ $0,5\delta_D \frac{1}{\sin \alpha}$ при $h = 0,5D$ $0,5\delta_D \left(\frac{1}{\sin \alpha} + 1 \right)$ при $h < 0,5D$
9	То же, при $2\alpha = 180^\circ$ и зажиме призмой		α	$0,5\delta_D$ при любом h

№ схемы	Базирование	Схема установки	Валер- живаемый размер	Погрешность базирования Δe_6
10	То же, но при использовании самоцентрирующих призм		e	0 $e \Rightarrow$ эксцентриситет оси отверстий относительно наружной поверхности
11	По отверстию На палец установочный цилиндрический (оправку) с зазором при обработке плоскости или паза		H_1, H_2 H_3 H_4	$0,5\delta_D + 2e + \delta_1 + \delta_2 + 2\Delta$ $2e + \delta_1 + \delta_2 + 2\Delta$ $\delta_1 + \delta_2 + 2\Delta$
12	То же, но с односторонним прижатием заготовки		H_1, H_2 H_3 H_4	$0,5\delta_D + 2e + 0,5\delta_2$ $2e + 0,5\delta_1 + 0,5\delta_2$ $0,5\delta_1 + 0,5\delta_2$
13	На палец (оправку) с натягом или на разжимную оправку		H_1, H_2 H_3 H_4	$0,5\delta_D + 2e$ $2e$ 0
14	На палец (оправку) с зазором; торец заготовки не перпендикулярен оси базового отверстия		H_1, H_2	$0,5\delta_D + 2e + \delta_1 + \delta_2 + 2\Delta \Rightarrow 2l \operatorname{tg} \alpha$
15	То же, но с односторонним прижатием заготовки		H_1, H_2	$0,5\delta_D + 2e + 0,5\delta_2 + l \operatorname{tg} \alpha$
16	На палец (оправку) без зазора. Торец заготовки не перпендикулярен оси базового отверстия		D_1	$\delta_1 + 2r \operatorname{tg} \gamma$

Продолжение табл. 25

№ схемы	Базирование	Схема установки	Выдер-живаемый размер	Погрешность базирования Δe_{δ}
17	По центровым гнездам На жесткий передний центр		L_1	$\delta_L + \Delta_{\text{ц}}$
			L_2, L_3	$\Delta_{\text{ц}} = \frac{0,56 d}{\text{tg } \alpha}$
			L_4	0
18	То же, но с использованием плавающего переднего центра		L_1	δ_L
			L_2, L_3 L_4	0
19	По двум отверстиям На пальцах при обработке верхней поверхности		h_1	$2\Delta + \delta_1 + \delta_2$
			h_2	$(2\Delta + \delta_1 + \delta_2) \left(\frac{2l_1 + l}{l} \right)$

Примечания: 1. Обозначения на схемах 10—16 и 19: H_3 — номер от обрабатываемой поверхности до оси наружной поверхности; H_4 — то же, до оси отверстия; e — эксцентриситет наружной поверхности относительно отверстия; δ_1 и δ_2 — допуски на диаметры отверстия и пальца; Δ — минимальный радиальный зазор посадки заготовки на палец; δ_l — допуск на длину заготовки.

2. Величина погрешности базирования в схемах 11—16 включает погрешность приспособления $\Delta_{\text{пр}}$.

3. Обозначения на схеме 17: δ_d — допуск на диаметр центрального гнезда; α — половина угла центрального гнезда; $\Delta_{\text{ц}}$ — погрешность глубины центрального гнезда (просадка центра). Ниже приведены значения $\Delta_{\text{ц}}$ при угле центра $2\alpha = 60^\circ$:

Наибольший диаметр центрального гнезда, мм	1; 2;	2,5	4; 5; 6	7,5; 10	12,5; 15	20; 30
$\Delta_{\text{ц}}$, мм	0,11		0,14	0,18	0,21	0,25

Для установки заготовок на первой операции технологического процесса используют необработанные поверхности, так называемые черные базовые поверхности. Черную базовую поверхность используют однократно, на первой установке, так как повторная установка на необработанную поверхность может привести к значительным погрешностям во взаимном положении обработанных при этих установках поверхностей. Для заготовок, полученных точными литьем и штамповкой, это правило не является обязательным.

Выбранная черная базовая поверхность должна обеспечивать равномерное распределение припуска при дальнейшей обработке и наиболее точное взаимное положение обработанных и необработанных поверхностей у готовых деталей.

На первых операциях технологического процесса обрабатывают основные базовые поверхности (обычно это основные плоскости, отверстия детали). В тех случаях, когда поверхности детали не удовлетворяют требованиям, предъяв-

ляемым к основным базовым поверхностям, и по своим размерам, формам или расположению не могут обеспечить устойчивой и жесткой установки, на детали создают специальные технологические базовые поверхности, так называемые искусственные базы: центровые отверстия, платики, выточки или отверстия.

Условные обозначения опор приведены в табл. 26, а примеры их применения — в табл. 27.

При неоднократном базировании заготовок происходят износ и смятие базовых поверхностей заготовок. Смещения заготовки, связанные с этим явлением, учитывают при расчете погрешности установки $\Delta \varepsilon_y$.

Погрешность закрепления $\Delta \varepsilon_z$ возникает при закреплении заготовок в приспособлениях в связи с колебанием величины контактных деформаций стыка заготовка — опоры приспособления. Погрешность закрепления — это предельное поле рассеивания положений установочной поверхности относительно поверхности отсчета в направлении выдерживаемого размера.

Упругие деформации детали из-за сил закрепления учитывают при расчете особо или в связи с малой величиной ими пренебрегают.

Величину смещений из-за контактных деформаций стыка заготовка — опоры приспособления вычисляют по эмпирическим зависимостям типа

$$\varepsilon_z = cQ^n \cos \alpha,$$

где c — коэффициент, характеризующий условия контакта, материал и твердость базовой поверхности заготовок (значения c см. табл. 28); Q — сила, действующая на опору; α — угол между направлением выдерживаемого размера и направлением наибольшего смещения.

Погрешность закрепления

$$\Delta \varepsilon_z = \bar{c} \bar{Q}^n \cos \alpha \sqrt{\left(\frac{\Delta c}{\bar{c}}\right)^2 + \left(\frac{n \Delta Q}{\bar{Q}}\right)^2},$$

где \bar{Q} и \bar{c} — средние значения параметров; ΔQ и Δc — предельное рассеивание значений Q и c .

Учитывая при расчетах только колебания значений твердости ΔHB и шероховатости ΔR_z базовой поверхности заготовок, получим

$$\Delta c = \sqrt{(K_{HB} p HB^{p-1} \Delta HB)^2 + (K_{R_z} \Delta R_z)^2}.$$

Коэффициенты K_{HB} и K_{R_z} и показатель степени p определяют по данным табл. 28, как коэффициенты при соответствующих величинах.

Погрешность приспособления и его износ $\Delta \varepsilon_{пр}$ возникает в результате неточности изготовления приспособления и его износа при эксплуатации.

Погрешность изготовления приспособления зависит в основном от точности изготовления деталей приспособления. В общем случае эта погрешность не должна превышать $1/3$ — $1/10$ доли допуска на соответствующий обрабатываемый размер детали.

Основные размеры и точность изготовления установочных деталей приспособлений приведены в табл. 29—34.

При эксплуатации приспособлений происходит износ установочных элементов, элементов для установки и направления режущего инструмента.

Ниже приведена методика расчета погрешностей, зависящих от износа установочных элементов приспособлений [22].

Характеристикой износа установочных элементов является износостойкость C , под которой понимают число установок N , вызывающих износ опоры на 1 мкм, т. е.

$$C = \frac{N}{u},$$

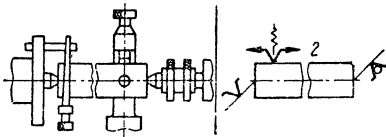
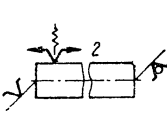
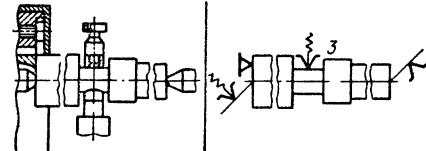
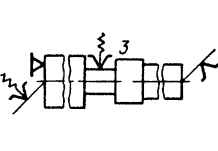
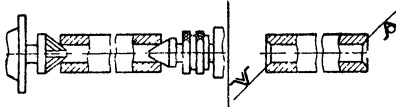
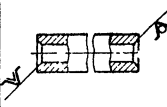
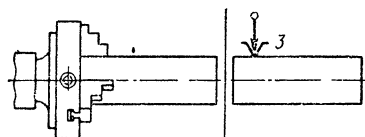
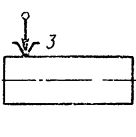
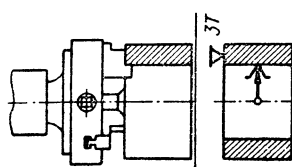
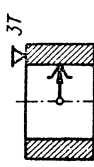
где u — износ опоры за N установок.

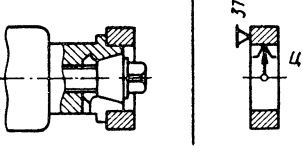
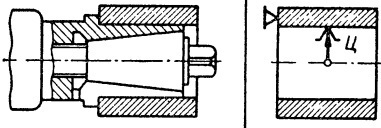
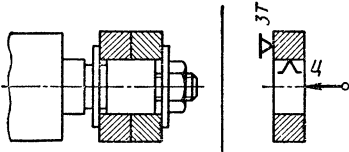
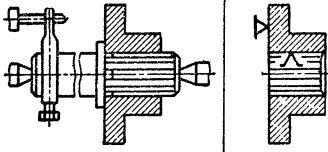
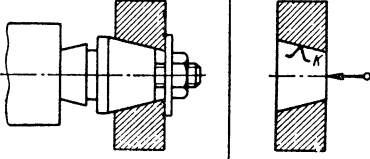
26. Условные графические изображения опор и зажимов, ГОСТ 3.1107—73

Опоры и зажимы	Условные обозначения для вида	
	спереди	сверху
Опоры любые		
Зажимы любые		
<i>Опоры неподвижные</i>		
Опоры постоянные, пластины опорные, пальцы установочные		
Люнеты неподвижные		
Опоры съемные		
Центры: Гладкие		
рифленные		
Оправки: Цилиндрические		
конические		
Призмы		
<i>Опоры подвижные, установочно-зажимные устройства, патроны</i>		
Опоры: регулируемые самоустанавливающиеся, подводимые		
одиночные плавающие		
сблокированные		
призматического типа		
Люнеты подвижные		

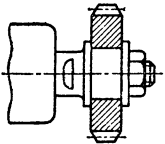
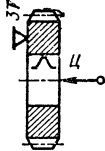
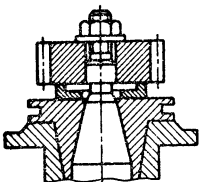
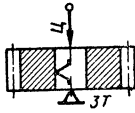
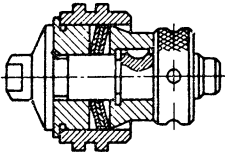
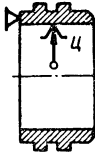
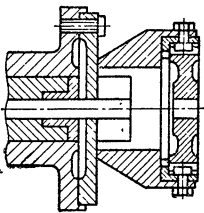
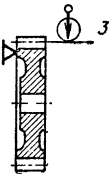
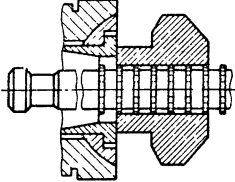
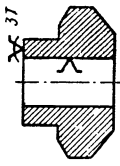
Опоры и зажимы	Условные обозначения для вида	
	спереди	сверху
Центры: вращающиеся плавающие Патроны двух-, трех-, четырех- кулачковые, цанговые, оправки разжимные Патроны: шариковые, роликовые поводковые		
<i>Зажимы</i>		
Одиночные (механические) Сблокированные двойные меха- нические) Гидравлические Пневматические		
Магнитные и электромагнитные		
<p>Примечания: 1. Условные обозначения опор наносят на контурные линии поверхностей, используемых при базировании (допускается на выносных линиях); для центров — на выносной линии, проведенной под углом к осевой линии.</p> <p>2. На виде спереди число одноименных опор обозначают цифрой в правом углу знака опоры.</p> <p>3. С 1 января 1977 г. вводится ГОСТ 21495—76</p>		

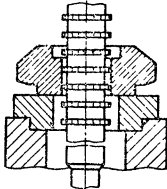
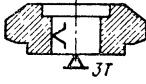
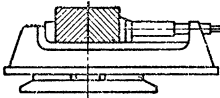
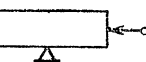
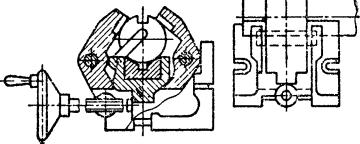
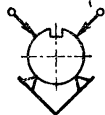
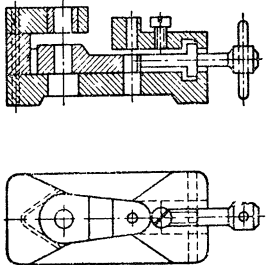
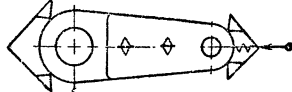
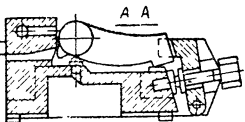
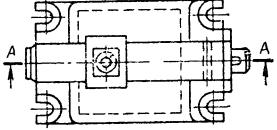
27. Примеры применения условных обозначений технологических баз и зажимных усилий

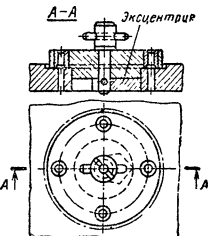
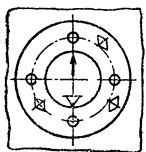
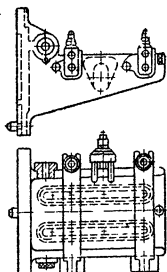
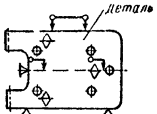
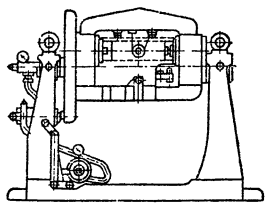
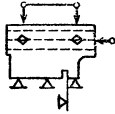
Эскиз установки	Схема условного обозначения
<p>В центрах с поводком и с подвижным люнетом</p> 	
<p>В центрах, с плавающим центром в поводковом патроне с неподвижным люнетом</p> 	
<p>В центрах, с рифленным и вращающимся центрами</p> 	
<p>В трехкулачковом самоцентрирующем патроне, с базированием по наружному диаметру, без упора в торец</p> 	
<p>В трехкулачковом патроне, в разжим, с базированием по торцу</p> 	

Эскиз установки	Схема условного обозначения
<p data-bbox="160 264 885 294">На консольной оправке с закреплением гайкой, с базированием по торцу</p> 	
<p data-bbox="202 514 844 544">На разжимной консольной оправке, с базированием по отверстию</p> 	
<p data-bbox="212 740 823 771">На разжимной консольной оправке, с базированием по торцу</p> 	
<p data-bbox="202 975 833 1005">На шлицевой оправке, в центрах, с базированием по отверстию</p> 	
<p data-bbox="150 1202 875 1232">На жесткой конусной консольной оправке, с базированием по отверстию</p> 	

Продолжение табл. 27

Эскиз установки	Схема условного обозначения
<p data-bbox="225 254 806 278">На жесткой консольной оправке, с базированием по торцу</p> 	
<p data-bbox="295 500 736 524">На жесткой оправке, с креплением по торцу</p> 	
<p data-bbox="253 746 781 771">На оправке, в разжим, с базированием по отверстию</p> 	
<p data-bbox="191 961 840 985">В приспособлении с роликами, с базированием по впадинам зуба</p> 	
<p data-bbox="170 1223 856 1247">Протягивание с базированием по отверстию, со сферической опорой</p> 	

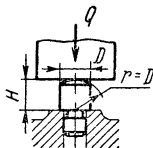
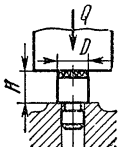
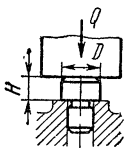
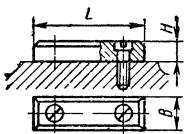
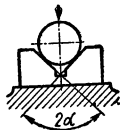
Эскиз установки	Схема условного обозначения
Протягивание с базированием по торцу, с жесткой опорой	
	
В машинных тисках	
	
В призматических тисках	
	
Крепление в призмах	
	
Крепление в призмах (фрезерование двух бобышек)	
	

Эскиз установки	Схема условного обозначения
<p>Крепление в накладном кондукторе</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>	
<p>Крепление в кондукторе на поворотном столе</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>	
<p>Крепление в кондукторе на поворотном столе</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>	
<p>Примечание Цифры обозначают число одноименных опор или условно число базовых точек</p>	

28. Соотношения для расчета контактных деформаций (мкм)
стыка заготовка — опора приспособления

Установка на опоры постоянные и пластины опорные*

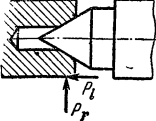
$$\varepsilon_3 = [(K_{R_2} R_2 + K_{HB} HB) + C_1] \frac{Q^n}{F^m}$$

Тип опоры	Эскиз	Материал заготовки	K_{R_2}	K_{HB}	C_1	n	m
Со сферической головкой, ГОСТ 13441—68		Сталь	0	-0,003	$0,67 + \frac{6,23}{r}$	0,8	0
		Чугун	0	-0,008	$2,70 + \frac{9,23}{r}$	0,6	0
С насеченной головкой, ГОСТ 13442—68		Сталь	0	-0,004	$0,38 + \frac{0,0034D}{1,76 - 0,03D}$	0,6	0
		Чугун	0	-0,0008	$1,76 - 0,03D$	0,6	0
С плоской головкой, ГОСТ 13440—68		Сталь	0,004	-0,0016	$0,40 + 0,012F$	0,7	0,7
Пластины опорные, ГОСТ 4743—68 *		Чугун	0,016	-0,0045	$0,776 + 0,053F$	0,6	0,6
Установка на призму.							
$\varepsilon_3 = \left[\left(K_{R_2} R_2 + \frac{K_{HB}}{HB} \right) + C_1 \right] \left(\frac{Q}{2l} \right)^m$							
Призма с углом $2\alpha = 90^\circ$		—	0,005	15	$0,086 + \frac{8,4}{D_{заг}}$	0,7	—

Продолжение табл. 28

Установка заготовки из стали 45 на центры при давлении в месте контакта не более 80 кгс/см².

$$\varepsilon_3 = C P^{0,5}$$

Эскиз стыка	Направление смещения	Значения <i>C</i> при диаметре центрального гнезда, мм											
		1	2	2,5	4	5	6	7,5	10	12,5	15	20	30
	Радиальное	15,7	11,8	8,6	5,8	3,8	3,2	2,9	2,1	1,7	1,4	1,0	0,7
	Осевое	12,1	8,6	6,6	4,1	2,9	2,5	2,2	1,6	1,3	1,1	0,8	0,55

Обозначения: *HV* — твердость материала заготовки; *Q* — сила, действующая по нормали к опоре, кгс; *F* — площадь контакта опоры с заготовкой, см²; *l* — длина образующей, по которой происходит контакт, см; *R_z* — шероховатость поверхности заготовки, мкм; *P* — составляющая усилия резания, для направления которой определяют смещение.

29. Опоры постоянные

Размеры в мм

С плоской головкой, ГОСТ 13440—68			Со сферической головкой ГОСТ 13441—68			С насеченной головкой ГОСТ 13442—68		
<i>D</i>	<i>d</i>	<i>H</i>	<i>D</i>	<i>d</i>	<i>H</i>	<i>D</i>	<i>d</i>	<i>H</i>
5	3	3; 5	16	10	8—20			
6	4	4; 6	20	12	10—32			
8	6	4; 6; 8	25	16	12—40			
10	6	6—10	32	20	16—50			
12	8	6—16	40	25	20—60			

Примечания: 1. Для опор по ГОСТ 13440—68 неперпендикулярность опорного торца *A* относительно поверхности *d* не более 0,01 мм; предельное отклонение размера *H* по *C*.
 2. Для опор по ГОСТ 13441—68 и 13442—68 предельное отклонение размера *H* по *C_s*.
 3. Опоры по ГОСТ 13442—68 изготавливают $D = 10 \div 40$ мм.

30. Пластины опорные, ГОСТ 4743—68 *

Размеры в мм

Эскиз	H	L	B	H	L	B
	5	25; 32	10	12	80; 120	20
	6	32; 40	12	16	160; 160	25
	8	40; 60	14	20	120; 180	32
	10	60; 100	16	25	140; 220	40

Примечание. Предельное отклонение размера H по C ; при изготовлении с припуском под шлифование в сборе или в комплекте $(\begin{smallmatrix} +0,3 \\ -0,2 \end{smallmatrix})$.

31. Втулки для фиксаторов и установочных пальцев

Размеры в мм

Эскизы	d	D	H	h	d	D	H	h
	2,5	6	4	1,6	10	16	12	3
	4	8	6		12	18	14	
	6	10	8	2	16	22	14	3
	8	12	10		16	22	18	

Примечания: 1. Радиальное биение поверхности d относительно поверхности D не должно превышать величин, указанных в табл. 4 для IV степени точности по ГОСТ 10356—63.

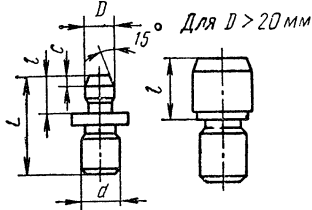
2. Торцовое биение опорного торца относительно поверхности d не должно превышать величин, указанных в табл. 3 для V степени точности по ГОСТ 10356—63.

3. Предельное отклонение размера d по A , размера D по Pr

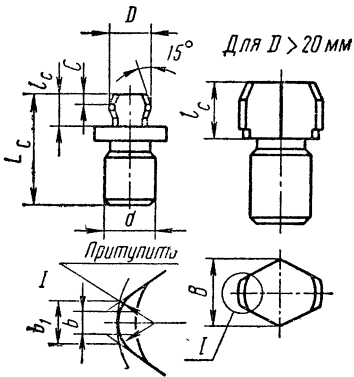
32. Пальцы установочные

Размеры в мм

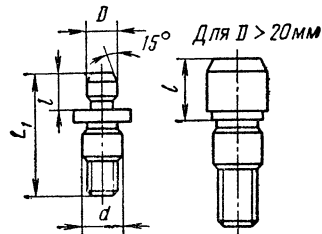
Цилиндрические постоянные, ГОСТ 12209—66



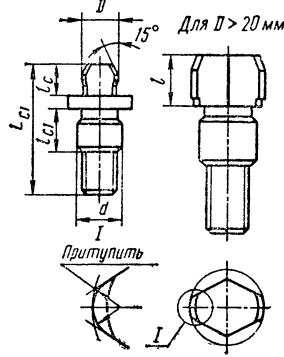
Срезные постоянные, ГОСТ 12210—66



Цилиндрические сменные ГОСТ 12211—66



Срезные сменные, ГОСТ 12212—66



D	d	L	l	C	L _c	l _c	L ₁	l _{c1}	L _{c1}
От 1,6 до 2,5	2,5	10	4	0,5	9	3	14	3	13
Св. 2,5 » 4	4	14	6	0,6	12	4	18	4	16
Св. 4 до 6	6	18	8	2	16	6	24	6	22
» 6 » 8	8	22	10		20	8	30	8	28
Св. 8 до 10	10	28	12	3	25	10	34	10	32
» 10 » 12	12	32	16		28	12	44	12	40
Св. 12 до 16	16	40	18	4	36	14	50	16	46
» 16 » 20	16	45	20		40	16	52	16	48
» 20 » 25	16	40	22		36	18	50	16	46
» 25 » 32	20	45	25		40	20	56	18	50
Св. 32 до 40	25	55	28	5	50	22	66	25	60
» 40 » 50	32	70	36	6	60	28	80	30	72

Примечания 1. Радиальное биение поверхности d относительно поверхности D не должно превышать величин, указанных в табл. 3 для IV степени точности по ГОСТ 10356—63.

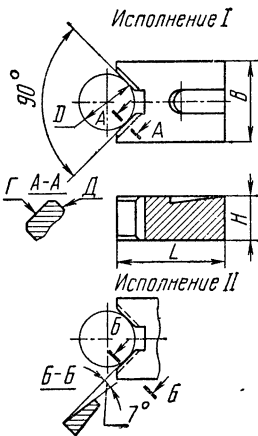
2. Торцовое биение опорного торца относительно поверхности d не должно превышать величин, указанных в табл. 3 для V степени точности по ГОСТ 10356—63.

3. Предельные отклонения размера D по D или $X_{..}$, размера d пальцев постоянных по Пр, сменных — по С

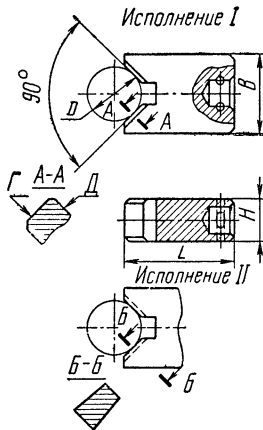
38. Призмы

Размеры в мм

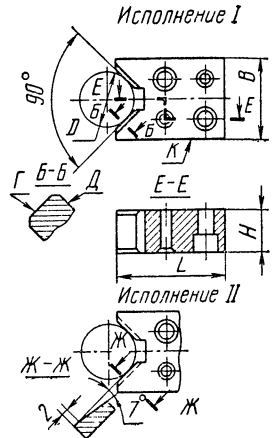
Подвижные
ГОСТ 12193—66 *



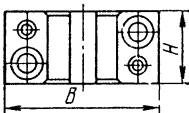
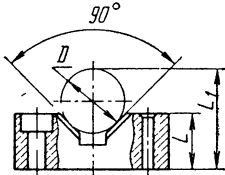
Установочные,
ГОСТ 12194—66



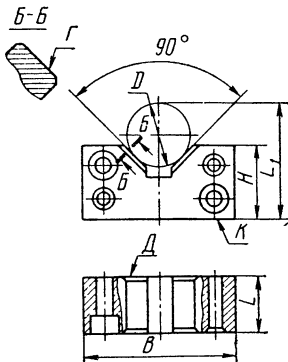
Неподвижные,
ГОСТ 12196—66



Опорные, ГОСТ 12195—66



С боковым креплением
ГОСТ 12197—66



D	H	L	B	W
От 3 до 5	8/—	25/—	10/—	±0,006
Св. 5 до 10	10/16	32/10	16/32	±0,008
Св. 10 до 15 » 15 » 20	12/20 16/25	40/12 45/16	20/38 25/48	±0,010
Св. 20 до 25 » 25 » 35 » 35 » 45	16/25 20/32 20/40	50/20 55/25 60/32	32/55 40/70 50/85	±0,012
Св. 45 до 60 » 60 » 80 » 80 » 100 » 100 » 150	25/40 25/50 32/55 —/70	70/38 80/45 100/50 —/70	60/100 80/120 100/140 —/190	±0,016

Примечания: 1. Размеры, указанные в числителе, относятся к призмам подвижным, установочным и неподвижным; в знаменателе — к призмам опорным и с боковым креплением.

2. Неперпендикулярность поверхностей Γ и K к поверхности D не более 0,05 мм на длине 100 мм.

3. Призмы неподвижные выполняют для размеров $D > 5$ мм.

4. Отклонение размера L_1 при измерении от контрольного вала по С:

5. Обозначения: D — диаметр зажимной детали; W — предельное смещение плоскости симметрии призматической выемки относительно боковых поверхностей размера B (только для призм подвижных и установочных).

34. Колодки направляющие, ГОСТ 12198—66

Размеры в мм

Эскиз	<i>B</i>	<i>B</i> ₁	<i>H</i>	<i>H</i> ₁	<i>L</i>	<i>B</i>	<i>B</i> ₁	<i>H</i>	<i>H</i> ₁	<i>L</i>
	10	32	16	8	25	40	80	32	20	50
	16	49	18	10	32	50	90	36	20	55
	20	50	20	12	40	60	100	40	25	60
	25	60	25	16	40	80	125	42	25	70
	32	70	28	16	45	100	150	50	32	80

Примечания: 1. Предельные отклонения размера *B* по *A*, размера *H*₁ по *A*₃.
 2. Неперпендикулярность поверхностей *Г* и *Д* к поверхности *Е* не более 0,05 мм на длине 100 мм.

Величину *C* рассчитывают в порядке, указанном в табл. 35. В табл. 35 и на рис. 7—10 приведены данные расчета.

При известной величине *C*_ф можно определить погрешность обработки, связанную с износом установочных элементов (для этого необходимо задаться числом установок *N*), оценить допустимое по износу число установок и, следовательно, найти периодичность замены опорных элементов. В этом случае необходимо предварительно рассчитать допустимую величину износа элементов *u*_{доп}.

Определение смещений элементов системы СПИД, связанных деформациями в местах сопряжения деталей. Контактные перемещения происходят в местах сопряжения деталей станка, приспособления и т. п. и в сопряжении заготовки с установочными элементами приспособлений. Упругие контактные перемещения составляют значительную часть общих перемещений станка, например доля их в перемещениях суппортов станков составляет 80—90%, шпиндельных узлов — 30—40% [17].

При центральном нагружении плоских стыков с небольшой площадью (до 40 см²) контактное упругое перемещение равно

$$\delta = Cq^m,$$

где δ — контактное смещение, мкм; *m* — показатель степени, *m* = 0,5; *q* — среднее давление, кгс/см² (*q* = 1 ÷ 50 кгс/см²); *C* — коэффициент, зависящий от геометрии поверхностей и свойств материала сопряженных деталей; при контакте деталей из стали, чугуна коэффициент *C* равен: чистовое строгание — 0,6; точение (7-й класс шероховатости поверхности) — 0,4; шлифование (7-й) — 0,4 ÷ 0,5; (8-й) — 0,35; (9-й) — 0,25; (10-й) — 0,15; притирка (11-й) — 0,07; шабрение грубое — 1,5, среднее — 0,8; тонкое — 0,4. Для стыков малой площади (2—3 см²) при шлифовании (7-й) — 0,09 [17].

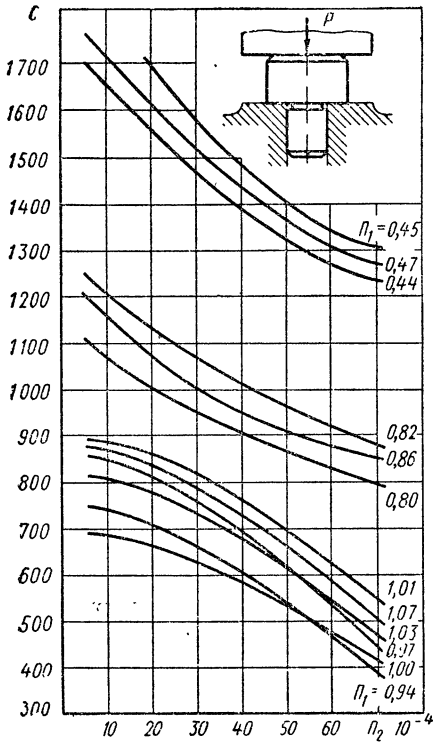


Рис. 7

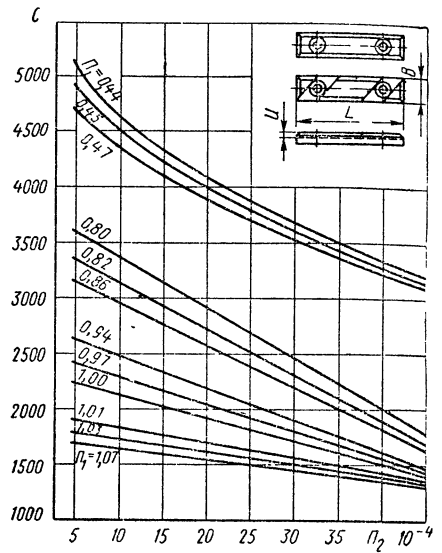


Рис. 9

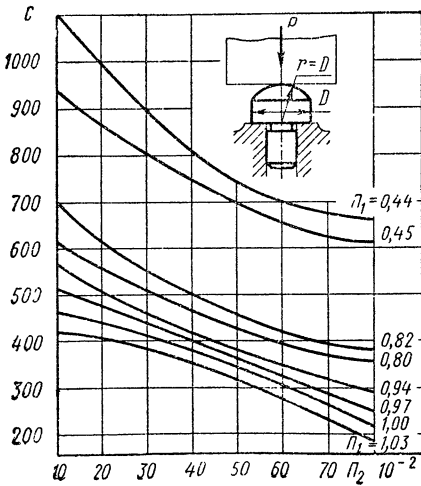


Рис. 8

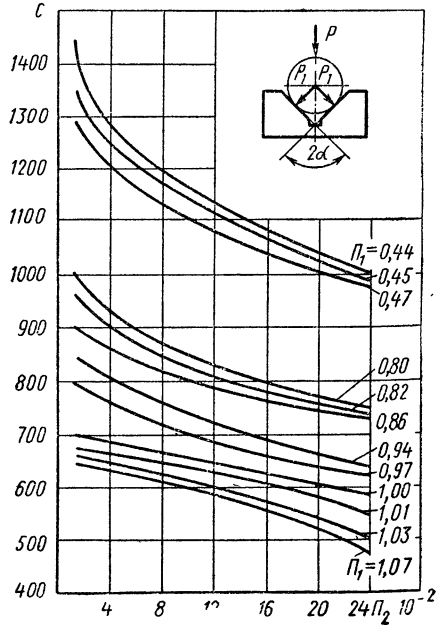


Рис. 10

35. Порядок расчета износостойкости C и C_{Φ} установочных элементов приспособлений (табл. 36—39)

Последовательность расчета	Содержание расчета	Определяемая величина	Формула или таблица
1	Выбрать твердость рабочих поверхностей Установочных элементов	HV	Табл. 36
2	Определить критерий износостойкости P_1 с учетом материала заготовки и установочного элемента	P_1	Табл. 37
3	Вычислить усилие, действующее на установочный элемент, с учетом усилия резания, закрепления, веса заготовки и т. п.	P	По нормативным материалам для данной схемы базирования заготовки
4	Определить номинальную площадь касания опорного элемента F с учетом размеров, формы установочных элементов	F	Табл. 38
5	Вычислить критерий нагружения опорного элемента P_2	P_2	$P_2 = \frac{P}{FHV}$
6	Для найденных значений P_1 и P_2 по графикам износостойкости определить величину износостойкости	C	Рис. 7—10
7	Определить поправочные коэффициенты: общий учитывающий время неподвижного контакта заготовки с опорами (t_M — машинное время обработки) учитывающий влияние длины пути скольжения по опорам в момент установки до упора учитывающий условия обработки	k k_t k_L k_s	$k = k_t k_L k_y$ $k_t \approx 0,79 t_M$ См. примечание Табл. 39
8	Вычислить значение фактической износостойкости	C_{Φ}	$C_{\Phi} = \frac{C}{k}$

Примечание Коэффициент K_L принимают

K_L	1,0	1,25	1,51
L , мм	0—25	25—100	100

Угол наклона (мкм/см) в стыке при нагружении моментом

$$\varphi = \frac{KM}{J}, \quad K = Cmq^{m-1},$$

где J — момент инерции площади стыка, см⁴.

Приведенные выше соотношения получены экспериментально.

Соотношения для расчета упруго-пластических смещений стыка заготовка—опора приспособления даны в табл. 28.

При расчете контактных перемещений микронеровности и отклонения формы поверхностей моделируют набором геометрических фигур одного вида: цилинд-

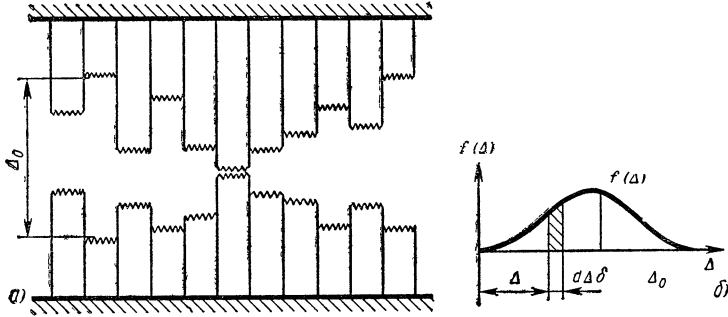


Рис. 11

ров, сфер, эллипсоидов и т. п. Ниже рассмотрена методика определения упругих перемещений плоских стыков при центральном нагружении, имеющих погрешность формы [27]. Поверхности детали моделируем набором стержней призматической формы (рис. 11, а). Пусть размеры стыка $a \times b$. Разбиваем стык сечениями в продольном (m сечений) и поперечном (m' сечений) направлениях. Общее число столбиков $mm' = n$. Основным условием является выделение площадки размером ab/n , отклонениями формы на которой можно пренебречь. Всегда можно считать, что в начальный момент соприкасается только одна пара столбиков. Так как нагружение принято центральным, то детали смещаются только по нормали к поверхности стыка. Этим столбикам присвоим индекс 11. Под нагрузкой столбики сближаются на величину

$$\delta_{11} = Cq_{11}^{0,5}.$$

При расчете сближения произвольных нагруженных столбиков δ_{ij} следует учесть, что в начале нагружения между ними был зазор Δ_{ij} , поэтому их общее сближение составит

$$\delta_{ij} = Cq_{ij}^{0,5} + \Delta_{ij}.$$

Очевидно, что смещения δ_{11} и δ_{ij} равны $\delta_{11} = \delta_{ij} = \delta$, откуда

$$C^2q_{ij} = (\delta - \Delta_{ij})^2.$$

Среднее давление на стыке обозначим q . Центральная сила, приложенная к стыку,

$$P = nq = \sum q_{ij} = \sum_{K=1}^{K=N} q_k.$$

Таким образом, имеем

$$C^2 q n = \sum_{K=1}^{K=N} (\delta - \Delta_k)^2 = N\delta^2 - 2\delta \sum_{K=1}^{K=N} \Delta_k + \sum_{K=1}^{K=N} \Delta_k^2,$$

где K — номер пары столбиков, находящихся в контакте, $K = 1, 2, \dots, N$, причем N — общее число стержней, находящихся в контакте.

Пусть $f(\Delta)$ — неизвестная функция плотности вероятности случайных зазоров (рис. 11, б), Δ — текущий зазор, Δ_0 — наибольший зазор в стыке.

Так как число участков n может считаться сколь угодно большим, то можно произвести замену:

$$N = n \int_0^{\delta} f(\Delta) d\Delta; \quad \sum_{K=1}^{K=N} \Delta_k = n \int_0^{\delta} \Delta f(\Delta) d\Delta;$$

$$\sum_{K=1}^{K=N} \Delta_k^2 = n \int_0^{\delta} \Delta^2 f(\Delta) d\Delta.$$

Тогда

$$C^2 q = \delta^2 \int_0^{\delta} f(\Delta) d\Delta - 2\delta \int_0^{\delta} \Delta f(\Delta) d\Delta + \int_0^{\delta} \Delta^2 f(\Delta) d\Delta.$$

Определим из этого уравнения функцию плотности $f(\Delta)$. Для этого введем функции $F(\Delta)$, удовлетворяющие следующим условиям:

$$dF_1(\Delta) = f(\Delta) d\Delta; \quad d_2 F(\Delta) = \Delta f(\Delta) d\Delta; \quad dF_3(\Delta) = \Delta^2 f(\Delta) d\Delta,$$

причем очевидно, что

$$dF_2(\Delta) = \Delta dF_1(\Delta); \quad dF_3(\Delta) = \Delta^2 dF_1(\Delta) \text{ и}$$

$$\int_0^{\delta} f(\Delta) d\Delta = F_1(\delta) - F_1(0); \quad \int_0^{\delta} \Delta f(\Delta) d\Delta = F_2(\delta) - F_2(0);$$

$$\int_0^{\delta} \Delta^2 f(\Delta) d\Delta = F_3(\delta) - F_3(0).$$

С учетом полученных соотношений основное уравнение примет вид

$$C^2 q = \delta^2 [F_1(\delta) - F_1(0)] - 2\delta [F_2(\delta) - F_2(0)] + F_3(\delta) - F_3(0).$$

Трижды продифференцировав это уравнение по δ , получим

$$C^2 \frac{d^3 q}{d\delta^3} = 2 \frac{dF_1(\delta)}{d\delta} = 2f(\delta).$$

Будем считать (это подтверждается экспериментами), что справедлива зависимость

$$\delta = \alpha q^{\frac{1}{\beta}},$$

где α и $\frac{1}{\beta}$ — неизвестные коэффициенты.

Подставив значение q в уравнение, получим

$$2f(\delta) = \left(\frac{1}{\alpha}\right)^\beta \beta(\beta-1)(\beta-2) C^2 \delta^{\beta-3}.$$

Предположим, что функция $f(\Delta)$ в диапазоне $0-\Delta_0$ имеет максимум. Это условие означает, что

$$\frac{df(\Delta)}{d\Delta} = 0.$$

Тогда

$$\beta(\beta-1)(\beta-2)(\beta-3) = 0.$$

Из корней уравнения $\beta_1 = 0$; $\beta_2 = 1$; $\beta_3 = 2$; $\beta_4 = 3$ решению задачи удовлетворяет только один корень $\beta_4 = 3$, так как в остальных случаях $f(\Delta) = 0$. Используя в качестве второго условия

$$\int_0^{\Delta_0} f(\Delta) d\Delta \approx 1,0,$$

определяем значение α равное $\alpha = \sqrt{3C^2\Delta_0}$ и $f(\Delta) = \frac{1}{\Delta_0} = \text{const}$ (закон равной вероятности).

Окончательно получим зависимость для расчета контактных упругих перемещений плоских шероховатых стыков, имеющих погрешность формы

$$\delta = \sqrt[3]{3C^2\Delta_0 q}.$$

Рассмотренная методика позволяет рассчитать упругие и пластические перемещения для разных случаев нагружения любых деталей машин.

Погрешности обработки, возникающие вследствие геометрических неточностей станка. Отклонения размеров, формы и пространственного положения обработанных поверхностей от заданных возникают также вследствие геометрических неточностей станка. Так, при точении консольно закрепленной заготовки в результате отклонения от параллельности оси шпинделя направляющим станины в горизонтальной плоскости получаем конусообразность $\Delta_{\text{кон}}$:

$$\Delta_{\text{кон}} = \frac{c_m l_m}{l},$$

где $\Delta_{\text{кон}}$ — отклонение формы обработанной поверхности в продольном сечении, мм (конусообразность); c_m — допускаемое отклонение от параллельности оси шпинделя направляющим станины в плоскости выдерживаемого размера на длине l , мм; l_m — длина обработанной поверхности, мм.

При обработке плоских поверхностей на вертикально-фрезерных станках вследствие непараллельности рабочей поверхности стола его продольным направляющим возникает непараллельность обработанной и установочной поверхностей:

$$\Delta h = \frac{c_\Phi l_\Phi}{L},$$

где Δh — приращение высоты обработанной поверхности; c_Φ — непараллельность рабочей поверхности стола его продольным направляющим на длине L , мм; l_Φ — длина обработанной поверхности, мм.

Отклонение от перпендикулярности оси шпинделя вертикально-фрезерного станка к поверхности стола в продольном направлении вызовет при обработке плоскости вогнутость в сечении, перпендикулярном к направлению подачи.

36. Рекомендации по назначению твердости опорных элементов приспособлений

Твердость опор		Область применения
HRC	HV	
45—55	470—615	Для неотвественных приспособлений при обработке деталей по 3—5-у классам точности. Серийное производство
55—60	615—717	Для приспособлений, применяемых при обработке деталей по 2—3-у классам точности. При установке по черновой поверхности заготовки
60—65	717—830	Для ответственных приспособлений при обработке деталей по 1—2-у классам точности. Массовое и крупносерийное производство

37. Значения критерия износостойкости

Материал заготовки	Π_1 при материале опорных элементов				
	Сталь 20 (цементация, закалка)	Сталь 40X (закалка)	Сталь У10А (закалка)	Сталь 45 (хромированная поверхность)	Сплав ВК8
Чугун	1,0	0,94	0,80	0,44	0,09
Сталь:					
без закалки	1,03	0,97	0,82	0,45	0,10
с закалкой	1,07	1,01	0,86	0,47	0,12

Примечание. За исходную износостойкость опорных элементов принята износостойкость опорных элементов из стали 20 с цементацией и закалкой при установке заготовок из чугуна (критерий износостойкости $\Pi_1 = 1$); для остальных случаев критерий износостойкости определен по отношению к исходному.

Оба указанных отклонения создают погрешности формы обработанной поверхности и, следовательно, погрешность выдерживаемого размера; указанные погрешности при односторонней обработке создают также пространственные отклонения относительно базовых и торцовых поверхностей обработанной заготовки.

Наиболее точно расчет ожидаемых погрешностей можно выполнить на основе экспериментально полученных данных.

Учитывая, что в станкостроении принято назначать характеристики точности при изготовлении новых станков не более 0,7 от соответствующих величин по ГОСТам на нормы точности, то при проектных расчетах ожидаемую погрешность можно вычислять исходя из нормы точности по ГОСТам.

При работе станка под нагрузкой влияние его геометрических погрешностей может частично компенсироваться. Например, расчет вогнутости плоской

38. Номинальная площадь касания F (в мм²) опорных элементов с поверхностью заготовки

Опоры постоянные со сферической головкой			Призмы опорные			Пластины опорные		
Номинальный диаметр опоры	Материал заготовки		Диаметр установленных валов, мм	Материал заготовки		габариты, мм	гладкие	с косым срезом
	Сталь	Чугун		Сталь	Чугун			
6	1,76	1,31	10—15	7,9	4,0	16×60	640	480
12	2,78	2,06	15—20	11,6	6,0	16×90	960	720
16	3,36	2,50	20—25	15,0	7,1	20×80	1066	800
20	3,90	2,90	25—35	21,2	11,0	20×120	1600	1200
25	4,52	3,35	35—45	28,5	14,8	25×100	1660	1250
30	5,18	3,76	45—60	36,1	18,7	25×150	2500	1875
40	6,27	4,56	60—80	48,5	25,2	30×120	2400	1800
Г	—	—	80—100	61,0	31,6	30×180	3600	2700

Примечания: 1. Таблица составлена для усилия прижима заготовки к опоре 1000 кгс. При другом значении усилия P площадь касания для опор постоянных со сферической головкой и с одной гранью опорной призмы $F = 0,01 \sqrt[3]{PF_{\text{табл}}}$.

2. Для пластин опорных значение F не зависит от усилия прижима.

3. Величину F для опор постоянных с плоской головкой определяют по фактической площади рабочей поверхности опоры.

39. Значения поправочного коэффициента k_y

Материал заготовки	Методы обработки	k_y
Чугун	Точение, фрезерование, сверление, без охлаждения	1,12
	Шлифование без охлаждения	1,58
Сталь: без закалки	Точение, фрезерование, сверление: с охлаждением	0,94
	без охлаждения	1,0
с закалкой	Шлифование с охлаждением	1,32

поверхности при обработке на вертикально-фрезерном станке дает завышенный результат, так как эта погрешность компенсируется отжатием фрезерной головки и изменением угла наклона шпинделя в процессе фрезерования.

Основные данные по погрешностям обрабатываемых поверхностей для различных станков приведены в табл. 40. Данные получены при чистой обработке деталей с учетом геометрических погрешностей станков и смещения узлов станка под действием сил резания.

40. Погрешности размеров, формы и взаимного расположения поверхностей деталей, получаемые после чистой обработки на металлообрабатывающих станках

Станки	ГОСТ	Наибольший диаметр обрабатываемой детали, мм	Допускаемые отклонения, мкм				Неплоскостность торцов детали (допускается волнчатость)
			Погрешность диаметров валиков	Погрешность длины валиков	Погрешность формы детали в продольном сечении	Погрешность формы детали в поперечном сечении	
Автоматы токарно-револьверные одношпиндельные прутковые классов точности H (II)	18100—72	До 20	20 (12)	60 (40)	—	8 (5)	—
		Св. 20 до 40	25 (16)	80 (50)	10 (6)	10 (6)	
		Св. 40	30 (20)	100 (60)	10 (6)	10 (6)	
Полуавтоматы токарные многошпиндельные патронные вертикальные	6820—54	До 250	80	—	100	25	20
		Св. 250 до 400	100	—	40	30	25
		Св. 400 до 630	120	—	50	40	30
		Св. 630 до 800	160	—	60	50	40
Полуавтоматы токарные многошпиндельные патронные горизонтальные классов точности H (II)	6819—70	До 125	65 (40)	—	100	16 (10)	На диаметре обработки 200 мм
		Св. 125 до 160	80 (50)	—	100	20 (12)	
		Св. 160 до 250	100 (65)	—	100	25 (16)	
Станки токарные многорезцовые и многорезцовые горизонтальные полуавтоматические ¹	16472—70	До 200	—	—	100	10	16
		Св. 200 до 320	—	—	150	12	20
		Св. 320	—	—	300	16	25

Токарные автоматы, полуавтоматы и станки

¹ При обработке на станках класса точности II допускаемые отклонения составляют 0,6 от указанных в таблице. Испытания проводят при определенном для каждого станка диаметре заготовки, обрабатываемом материале и определенных условиях закрепления резцов. На станках по ГОСТ 16472—70 заготовки устанавливают в центрах и патронах.

Продолжение табл. 40

Автоматы одношпиндельные пробального точения (ГОСТ 8831—70)									
	До 6			Св. 6 до 16			Св 16		
	П	В	А	П	В	П	В	П	В
Наибольший диаметр обрабатываемого прутка, мм									
Постоянство диаметров, мкм: в поперечном сечении в продольном сечении в партии и образцов Число образцов n Постоянство длин (мкм) в пар- ти и образцов	6	3	1,5	8	5	10	6	10	6
	8	4	2,2	10	6	12	8	12	8
	10	5	3	12	8	16	10	16	10
	50	50	50	20	30	30	30	30	30
20	12	8	25	16—20	30	20—25			

Станки токарные и токарно-винторезные (ГОСТ 18097—72)																			
	До 250			Св. 250 до 400			Св. 400 до 800			Св. 800 до 1600			Св. 1600 до 3200			Св. 3200 до 6300			
	Н	П	В	Н	П	В	Н	П	В	Н	П	В	Н	П	В	Н	П	В	
Наибольший диаметр обрабатываемой детали, мм																			
Длина измерения, мм Постоянство диаметра, (мкм) для станков класса точности	Н	100	200	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
	П	6 (10)*	8 (20)	10 (30)	10 (30)	10 (30)	10 (30)	10 (30)	10 (30)	10 (30)	10 (30)	10 (30)	10 (30)	10 (30)	10 (30)	10 (30)	10 (30)	10 (30)	10 (30)
	В	4 (7)	5 (12)	7 (20)	7 (20)	7 (20)	7 (20)	7 (20)	7 (20)	7 (20)	7 (20)	7 (20)	7 (20)	7 (20)	7 (20)	7 (20)	7 (20)	7 (20)	7 (20)
		2,5 (5)	3 (8)	5 (12)	5 (12)	5 (12)	5 (12)	5 (12)	5 (12)	5 (12)	5 (12)	5 (12)	5 (12)	5 (12)	5 (12)	5 (12)	5 (12)	5 (12)	5 (12)
Плоскостность торцевой поверхности, мкм	Н	10	16	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	П	6	10	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
	В	4	5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

* Для поперечного (любого) сечения.

** На длине 500 мм при контроле диаметра, на длине 1000 мм — неплоскостности.

Продолжение табл. 40

Станки токарно-револьверные патронные и прутковые с вертикальной, горизонтальной и наклонной осями вращения револьверной головки классов точности Н и П (ГОСТ 17-70)		Допускаемые отклонения, мкм										
		Наибольший диаметр, мм	Постоянство диаметра в сечении					Прямолинейность торцовой поверхности				
			поперечном		любом			любом		любом		
прутка		Класс точности станков										
		Н	П	Н	П	Н	П	Н	П	Н	П	Д
До 12	До 200	8	5	12	8	10	6	100 (100) *				
Св. 12 до 32	Св. 200 до 320	10	6	16	10	12	8	150 (120)				
» 32 » 80	» 320 » 500	12	8	20	12	16	10	200 (150)				
» 80 » 200	» 500 » 800	16	10	25	16	20	12	300 (185)				

Примечания: 1. Заготовки определенных размеров устанавливают в патроне или в цанге.
 2. Отклонения (постоянство диаметров) определяют наибольшей разностью диаметров соответственно поперечного сечения, нескольких (не менее 3) поперечных сечений в пределах длины образца.
 3. Прямолинейность торцовой поверхности проверяют с помощью линейки и концевых мер или шупа, а также индикатора (индикатор перемещают от центра до периферии, отклонение при этом равно половине разности показаний индикатора).
 Допускается только выпуклость.

* Контроль прямолинейности проводят на диаметре D для станков с вертикальной (горизонтальной) осью револьверной головки.

Продолжение табл. 40

Станки координатно-расточные и координатно-шлифовальные
Б. Отклонение геометрической формы отверстия

Диаметр первой опоры шпинделя, мм	Постоянство диаметра в сечении, мкм											
	поперечном					любом					осевом	
	В	А	С	В	А	С	В	А	С	В	А	С
До 32	4	2,5	1,6	6	4	2,5	4	2,5	4	2,5	1,6	
Св. 32 до 50	5	3	2	8	5	3	5	3	5	3	2	
» 50 » 80	6	4	2,5	10	6	4	6	4	6	4	2,5	
» 80	8	5	3	12	8	5	8	5	8	5	3	

Станки горизонтально-расточные (ГОСТ 2110—72)

Диаметр расточного шпинделя нор- мального (усилен- ного), мм	Постоянство диаметра в сечении, мкм						Неплоскост- ность тор- цовой по- верхности, мкм	Неперпенди- кулярность оси отвер- стия к к торцовой поверхно- сти, мкм	Отклонение расположе- ния*, мкм	
	поперечном			продольном						
	d		d ₁	d		d ₁				на длине, мм
	d	d ₁	d	d ₁						
До 90 (110)	16 (10)	25 (16)	20 (12)	20 (12)	20 (12)	200	16 (10)	25 (16)	30 (20)	
Св. 90 до 160 (св. 110 до 200)	20 (12) 30	30 (20) 40	30 (20) 40	30 (20) 40	30 (20) 40	300 400	30 (20) 30	25 (16) 30	30 (20) 30	

П р и м е ч а н и я: 1. Отверстия обрабатывают чистовым резцом, закрепленным на расточном шпинделе при подаче шпинделя d_1 ; на суппорте планшайбы подачей стола или передней стойки d_1 .
2. Торцовую поверхность обрабатывают чистовым резцом с суппорта планшайбы. Подача радиальная (выпуклость не допускается). Проверка на длине 300—500 мм.

* Неупругость осей отверстий d_2 , расточенных на образце подачей: а) стола, б) расточного шпинделя на длине 300 мм. Перпендикулярность оси отверстия d на образце к плоскости, полученной фрезерованием пазов при горизонтальной и вертикальной подачах.

Продолжение табл. 40

Станки отделочно-расточные (алмазно-расточные) горизонтальные (ГОСТ 11576—65)		Станки отделочно-расточные (алмазно-расточные) вертикальные (ГОСТ 594—67)			
Диаметр растачиваемого отверстия, мм	Постоянство диаметра в любом сечении для станков класса точности, мкм		Длина растачиваемого отверстия или расстояние между отверстиями, мм	Допускаемые отклонения, мкм	
	П	В			
До 32	5	3	До 200 Св. 200 до 320 » 320	12 16 20	
» 65	6	4			
» 125	8	5			
» 250	10	6	» 320	25 28 32	
Примечание. Размеры отверстия $d \geq 0,5d$, $L = 0,5d$, где d — наибольший диаметр расточки. Допуски на станки особо высокой точности класса А должны составлять 0,6 допусков для станков класса В.		Примечание. Данные приведены для станков класса точности П; для класса В допускаемые отклонения равны 0,6 от указанных			
Станки фрезерные консольные (горизонтальные, вертикальные, универсальные) классов точности Н и П и широкоуниверсальные классов точности П) ГОСТ 17734—72		Примечание. Для станков с подвижным столом допуск увеличивают в 1,25 раза » Для станков с отсчетным устройством на столе станка.			
Класс точности станка	Допуск (в мкм) для длины измерения, мм		Допуск (в мкм) для длины измерения, мм		
	До 60	Св. 60 до 100	Св. 60 до 100	Св. 100 до 250	
Н	10	12	12	16	
П	6	8	8	10	
Непараллельность верхней обработанной поверхности основания		Неплоскостность поверхности		Неперпендикулярность поверхностей	
Н	10	12	16	20	30
П	6	8	10	12	16
Непараллельность верхней обработанной поверхности основания		Неплоскостность поверхности		Неперпендикулярность поверхностей	
Н	10	12	16	20	30
П	6	8	10	12	16

Продолжение табл. 40

Станки долбежные, строгальные						
Станки	ГОСТ	Неплоскостность обработанных поверхностей		Неперпендикулярность обработанной боковой поверхности к верхней (или основанию)		Непараллельность боковых обработанных поверхностей между собой, мкм
		Отклонение, мкм	На длине, мм	Отклонение, мкм	На длине, мм	
Долбежные Ход долбяка, мм: до 200 св. 200 до 500 » 500 » 800 » 800	26—67	16 25 32 50	На длине образца	16 25 32 50	На длине образца	—
Поперечно-строгальные с наибольшим ходом ползуна, мм: до 200 св. 200 до 320 » 320 » 500	16—71	10 (20) 20 (30) 30 (40)	Соответственно верхней (боковой)	—	—	20 30 40 30 40 70
Продольно-строгальные при длине измерения, мм: до 400 св. 400 до 630 » 630 » 1 000 » 1 000 » 1 600 » 1 600 » 2 500 » 2 500 » 4 000 » 4 000 » 6 300 » 6 300 до 8 000 » 8 000 » 10 000 » 10 000 » 46 000	35—73	12 (8) * 16 (10) 20 (12) 25 (16) 30 (20) 40 (25) 50 (30) 70 (50) 80 (60)	—	16 (10) * 20 (12) 30 (20)	До 160 Св. 160 до 250 » 250 » 500	16 (10) * 20 (12) 25 (16) 30 (20) 40 (25) 50 (30) 60 (40) 70 (45) 80 (50) 100 (60)

* Для станков класса точности Н (П) на указанной длине измерения.

Продолжение табл. 40

Станки круглошлифовальные (ГОСТ 11654—72)									
Наибольший диаметр устанавливаемой детали, мм	Постоянство диаметра в продольном направлении			Некруглость			Неплоскостность торцовой поверхности ¹		
	Допускаемые отклонения станков классов точности, мкм								
	П	В	А	П	В	А	П	В	А
$D \leq 100$	3	2	1,2	1,0	0,6	0,4	5	4	3
Св. 100 до 200	5	3	2	1,6	1,0	0,6	6	5	4
> 200 до 400	8	5	—	2,5	1,6	—	8	6	—
> 400 до 800	10	—	—	3	—	—	10	—	—

Примечания: 1. Испытания проводят на образцах $d > \frac{1}{8} D$ и $L \geq \frac{1}{2} D$ — все станки при установке на центрах или $d \geq \frac{1}{4} D$ и $L = \frac{1}{2} D$ — станки с поворотными бабками при установке в патроне (где d и L — диаметр и длина обрабатываемой детали; D — наибольший диаметр устанавливаемой детали).

2. При проверке точности обработки отверстий размером $d_0 \geq \frac{1}{2} d_{\text{банн}}$, $l_0 = 2d_0$ Деталь крепят в патроне. При проверке неплоскостности обрабатывают диск $d \geq \frac{1}{2} D$.

¹ Выпуклость не допускается.

Станки круглошлифовальные бесцентровые (ГОСТ 13510—68)									
Наибольший диаметр устанавливаемой детали, мм	Класс точности станков	Допустимые отклонения, мкм		Наибольший диаметр устанавливаемой детали, мм	Класс точности станков	Допустимые отклонения, мкм			
		Некруглость	Погрешность формы (диаметра) в продольном сечении			Некруглость	Погрешность формы (диаметра) в продольном сечении		
								П	В
6	П	1,2	2,0	160	П	2,5	4,0		
	В	0,8	1,2		В	1,6	2,5		
	А	0,5	0,8		В	3,0	5,0		
25	П	1,6	2,5	320	П	2,0	3,0		
	В	1,0	1,6		В	3,0	5,0		
	А	0,6	1,0		В	2,0	3,0		
80	П	2,0	3,0	Примечание. При испытании применяют образцы $d = \frac{1}{3} \div \frac{1}{2} D$, длиной $L = 0,75 H$ (при $H \leq 200$ мм) или $L \geq 200$ мм (при $H > 200$ мм), где H — высота круга; d и L — диаметр и длина обрабатываемой детали; D — наибольший диаметр обрабатываемой детали.					
	В	1,2	2,0						
	А	0,8	1,2						

Продолжение табл. 40

Плоскошлифовальные станки		Плоскошлифовальные станки с круглым столом и с горизонтальным (ГОСТ 14—71) и вертикальным (ГОСТ 27—71) шпинделем		
Станки	ГОСТ	Характеристика станка, мм	Допускаемые отклонения, мкм	
			Неполюсцованная поверхность	Обрабатываемая поверхность
Плоскошлифовальные с крестовым суппортом и горизонтальным шпинделем	273—67	До 125 Св. 125 до 200 » 200	3 (2) *	3 (2) *
			4 (2,5)	4 (2,5)
Проильно-шлифовальные	Г1135—72	До 250 Св. 250 до 400 » 400 » 630 » 630 » 1000 » 1000 » 1600 » 1600 » 2500 » 2500 » 4000 » 4000 » 6300 » 6300 » 8000	5 (2) **	6 (2,5) **
			6 (2,5)	8 (3)
			10 (4)	10 (4)
			12 (5)	12 (5)
			16 (6)	16 (6)
			20 (8)	20 (8)
			25	25
			30	30
			40	40
<p>Примечания: 1. Характеристика для плоскошлифовальных станков служит наибольшая ширина устанавливаемой детали, для проильношлифовальных — наибольшая длина детали.</p> <p>2. Неперпендикулярность верхней и боковой поверхностей составляет для плоскошлифовальных станков классов В (А) соответственно 2 (1,5) мкм; для проильношлифовальных станков классов П и А соответственно 20 и 8 мкм на длине 300 мм.</p>				
			* Для станков класса точности В (А).	
			** Для станков класса точности П (А).	
Плоскошлифовальные станки с круглым столом и с горизонтальным (ГОСТ 14—71) и вертикальным (ГОСТ 27—71) шпинделем		Допускаемое отклонение по параллельности верхней обработанной поверхности относительно плоскостности обработанных поверхностей, мкм		
Станки с горизонтальным шпинделем	Длина измеренная, мм	Станки с вертикальным шпинделем	Длина измеренная, мм	
3 (2) *	До 200	8 (5) **	До 400	
5 (3)	Св. 200 до 400	11 (7)	Св. 400 до 800	
7 (4)	» 400 » 800	16 (10)	» 800 » 1600	
10 (6)	» 800	20 (—)	» 1600	
* Для станков класса точности В (А).				
** Для станков класса точности П (В).				
Отрезные станки				
Станки	ГОСТ		Допускаемая неперпендикулярность (в мкм) плоскости проилы к образующей цилиндрической поверхности заготовки на длине 100 мм	
Ножовочные (диаметр заготовки до 320 мм)	15—67		200	
Отрезные круглопильные (диаметр пилы до 2000 мм)	28—68 *		150	

Продолжение табл. 40

Станки внутришлифовальные горизонтальные (ГОСТ 25—72)						
Наибольший диаметр устанавливаемого изделия, мм	Класс точности станка	Допускаемые отклонения, мкм				
		Постоянство диаметра в сечении		Некруглость обработанного отверстия	Неплоскостность торцовой поверхности	Неперпендикулярность торцовой поверхности отверстия
		продольном	поперечном			
/	П	4	2,5	—	5	8
	В	3	—	1,0	3	5
	А	2	—	0,6	2	3
Св. 200 до 400	П	5	3	—	6	10
	В	3	—	1,6	4	6
	А	2	—	1,0	3	4
Св. 400 до 800	П	6	4	—	8	12
	В	4	—	3,0	5	8
	А	3	—	2,0	3	5
Св. 800	П	8	5	—	10	15

Примечание. Данные распространяются на внутришлифовальные станки универсального назначения с наибольшим диаметром устанавливаемого изделия до 800 мм (классы точности В и А) и до 1100 мм (класс точности П).

Продолжение табл. 40

Станки шифровально-притирочные (хонизовальные) и притирочные вертикальные (ГОСТ 2041—69)		
Наибольший диаметр обрабатываемого отверстия, мм	Постоянство диаметра в сечениях, мкм	
	поперечном	продольном
До 32	2,5 (1,6)	4 (2,5)
Св. 32 до 50	3 (2)	5 (3)
» 50 » 80	4 (2,5)	6 (4)
» 80 » 125	5 (3)	8 (5)
» 125 » 200	6	10
» 200 » 320	8	12
» 320 » 500	10	16
» 500 » 800	12	20

П р и м е ч а н и я: 1. Значения отклонений относятся к станкам класса Н (П).
 2. Испытания проводят на образцах-втулках из чугуна или закаленной стали с диаметром отверстия $d \geq 0,5D$ и длиной $L = 1,6D$, где D — наибольший диаметр обрабатываемого отверстия.
 3. Погрешности отверстий исходных заготовок должны быть не грубее значений, указанных в таблице, для станков класса Н — в 4 раза, класса П — в 2,5 раза.

Станки протяжные горизонтальные (ГОСТ 16015—70). Торцовое биеие опорной поверхности образца относительно оси протянутого отверстия 60 мкм на диаметре 200 мм.
Станки протяжные вертикальные (ГОСТ 16025—70). Для наружного протягивания перпендикулярности протянутой боковой поверхности к опорной 40 мкм на длине 500 мм.
 Для внутреннего протягивания торцовое биеие на опорной поверхности образца относительно оси протянутого отверстия 50 мкм на длине 200 мм.

Погрешность настройки станка на размер. Под настройкой станка на размер понимают согласованную установку режущего инструмента, рабочих элементов станка и установочных элементов приспособления в положение, которое с учетом явлений, происходящих в процессе обработки, обеспечивает получение выдерживаемого размера с заданным допуском на изготовление.

Взаимное положение элементов технологической системы определяется величиной «установочного размера». При каждом регулировании системы или смене инструмента невозможно обеспечить одно и то же его положение. Поле рассеивания положений инструмента при настройке называют погрешностью настройки станка на размер и обозначают Δ_n . Ориентировочно погрешность Δ_n можно принять равной разности между предельными величинами установочного размера. При расчете погрешность настройки можно принимать по табл. 41. Точно величину Δ_n определяют расчетом.

41. Средние допускаемые погрешности настройки Δ_n для лезвийных инструментов, мкм

Интервалы выдерживаемых размеров, мм	Обработка			
	черновая *	чистовая	тонкая	однократная
До 30	40—100	10	5	20
Св. 30 до 80	60—150	20	6	25
» 80 » 180	80—200	30	7	30
» 180 » 360	100—250	40	8	40
» 360 » 500	120—300	50	10	50

* Меньшие значения принимают при обработке точных черных заготовок (5—7-й классы точности); большие значения — при обработке грубых черных заготовок (8-й класс точности и грубее).

В общем случае Δ_n зависит от погрешности регулирования Δ_p положения инструмента (по лимбу, эталону, жесткому упору и т. п.) и погрешности измерения размера детали при настройке $\Delta_{изм}$.

Для поверхностей вращения с учетом того, что Δ_n и Δ_p относятся к радиусу, а $\Delta_{изм}$ — к диаметру, получим

$$\Delta_n = \sqrt{(K_p \Delta_p)^2 + \left(K_n \frac{\Delta_{изм}}{2}\right)^2},$$

для плоских поверхностей

$$\Delta_n = \sqrt{(K_p \Delta_p)^2 + (K_n \Delta_{изм})^2}.$$

Коэффициенты $K_p = 1,14 \div 1,73$ и $K_n = 1$ учитывают отклонение закона распределения элементарных величин Δ_p и $\Delta_{изм}$ от нормального закона распределения. Слагаемые погрешности Δ_n определяют по формулам и данным, приведенным в табл. 42—44.

В тех случаях, когда применяют мерные инструменты (сверла, зенкеры, развертки, протяжки, пазовые фрезы), погрешности настройки зависят от действительных размеров устанавливаемых инструментов и определяются допусками на изготовление инструментов. Колебания размеров инструментов при каждой их смене влияют на точность обработки аналогично погрешности Δ_n настройки станка на выдерживаемый размер.

42. Основные формулы для расчета погрешности Δ_p

Метод работы	Установка резца на размер	Суммирование по максимуму — минимуму	Вероятностное суммирование
По лимбу станка	По пробной проточке	$\Delta_p = \Delta_{\text{л}}$	$\Delta_p = \Delta_{\text{л}}$
По упору	По лимбу	$\Delta_p = \Delta_{\text{л}} + \Delta_{\text{у}}$	$\Delta_p = \sqrt{(K_{\text{л}}\Delta_{\text{л}})^2 + (K_{\text{у}}\Delta_{\text{у}})^2}$
	По эталону и шупу	$\Delta_p = \Delta_{\text{э}} + \Delta_{\text{у}}$	$\Delta_p = \sqrt{(K_{\text{э}}\Delta_{\text{э}})^2 + (K_{\text{у}}\Delta_{\text{у}})^2}$
<p>Примечания: 1. Погрешности установки инструмента: $\Delta_{\text{л}}$ — по лимбу; $\Delta_{\text{у}}$ — по упору; $\Delta_{\text{э}}$ — по эталону и шупу. 2. Значения коэффициентов при расчетах можно принимать $K_{\text{л}} = 1$; $K_{\text{у}} = K_{\text{э}} = 1,14 \div 1,73$.</p>			

Погрешность измерения (ГОСТ 16263—70) — отклонение результата измерений (значения величины, найденной ее измерением) от истинного значения величины. Установленные стандартом ГОСТ 8.051—73 (табл. 45) пределы допустимых погрешностей измерения являются наибольшими допускаемыми погрешностями измерения (без учета знака); они включают случайные и неучтенные систематические погрешности измерительных средств, установочных мер, температурных деформаций, базирования и т. д.

Величины допускаемых погрешностей измерения $\delta_{\text{изм}}$ составляют от 20 (для грубых классов) до 35% допуска на изготовление изделия $\Delta_{\text{изд}}$.

Случайная погрешность измерения не должна превышать 0,6 нормируемого предела допускаемой погрешности измерения. В соответствии с рекомендацией ISO случайная погрешность измерения принята с доверительной вероятностью 0,954, т. е. величиной равной $\pm 2\sigma$.

Влияние погрешности измерения может привести к тому, что часть проверенных изделий m будет отнесена к годным, хотя истинные значения их размеров находятся за пределами поля допуска (неправильно принятые), а часть годных изделий n будет забракована (неправильно забракованные). Поэтому значения размеров, по которым проводят приемку изделий — приемочные границы — устанавливают совпадающими с предельными отклонениями проверяемого размера (предпочтительный способ) или смещенными от предельных отклонений размера (уменьшение допуска), т. е. вводят производственный допуск.

В первом случае учитывают, что конструкторский допуск $\delta_{\text{к}}$ охватывает предельные допускаемые погрешности изготовления $\Delta_{\text{изг}}$ (включая и погрешность измерения) и прочие допускаемые погрешности $\Delta_{\text{пр}}$:

$$\delta_{\text{к}} = \Delta_{\text{изг}} + \Delta_{\text{пр}},$$

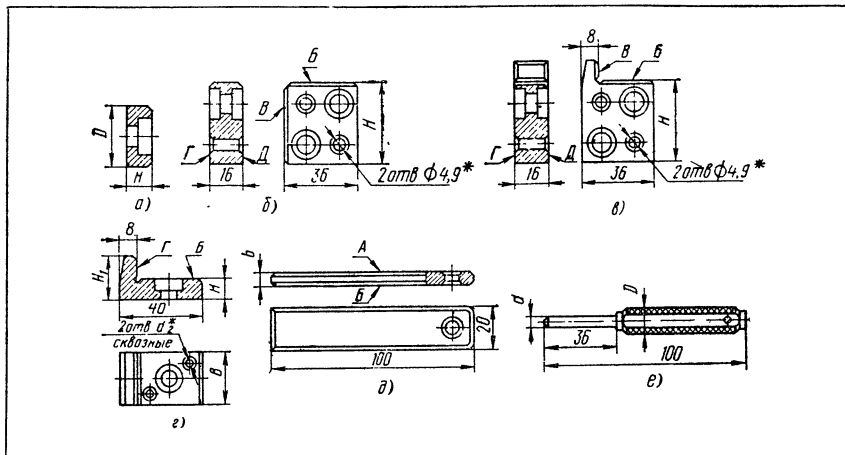
где $\Delta_{\text{пр}}$ — прочие погрешности: изменение размеров под влиянием силовых, температурных деформаций, старения и других погрешностей, возникающих в работающем механизме или при его хранении.

Введение производственного допуска оговаривается в технических требованиях на изделие. Величина смещения предельного отклонения размера не должна превышать половины нормируемого предела допускаемой погрешности измерения. При неизвестной точности технологического процесса величину смещения принимают равной половине предела допускаемой погрешности измерения.

43. Погрешность регулирования (установки) реза при наладке на размер в поперечном направлении

Метод регулирования положения реза	Δ_p , мкм
По лимбу с ценой деления мм.	
0,01	5—10
0,02	10—15
0,03	10—30
0,05	15—30
0,1—0,5	30—70
По индикаторному упору с ценой деления прибора мм:	
0,01	10—15
0,002	3—5
0,001	1—2
По жесткому упору	20—50 (возможно в пределах 10—130)
По эталону:	
резец закрепляют винтами резцедержателя после касания его с эталоном	100—130
резец, закрепленный в резцедержателе, подводят к эталону винтом поперечной подачи	20—30
то же, но с контролем положения реза:	
бумажным щупом	10—20
металлическим щупом	7—10
Установка взаимозаменяемого режущего инструмента со сменой:	
реза, установленного на размер вне станка с помощью индикатора или миниметра	20—30
блока с резцами, установленными на размер вне станка	10—50
мерной режущей пластинки (или поворотом чашечного реза)	25
<p>Примечания; 1. Погрешность установки эталона не должна превышать 10—20 мкм. 2. Для диаметральных размеров учитывают удвоенную погрешность $2\Delta_p$.</p>	

44. Размеры и точность изготовления установов для настройки инструмента и щупов



Наименование	Эскиз	Основные размеры, мм	Точность изготовления												
Установы:															
высотные, ГОСТ 13443—68	a	<table border="1"> <tr> <td>D</td> <td>16</td> <td>25</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>H</td> <td>8</td> <td>10</td> <td>12</td> </tr> </table>	D	16	25	40	H	8	10	12	Предельное отклонение H по С				
D	16	25	40												
H	8	10	12												
высотные торцовые, ГОСТ 13444—68 угловые торцовые, ГОСТ 13446—68	б в	H выбирают из ряда: 32, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110													
угловые, ГОСТ 13445—68	г	<table border="1"> <tr> <td>B</td> <td>16</td> <td>25</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>H</td> <td>8</td> <td>10</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>H₁</td> <td>20</td> <td>22</td> <td>28</td> </tr> </table>	B	16	25	40	H	8	10	16	H ₁	20	22	28	Предельное отклонение H по С. Неперпендикулярность от плоскости Б относительно Г не более 0,005 мм
B	16	25	40												
H	8	10	16												
H ₁	20	22	28												
Щупы для станочных приспособлений: плоские, ГОСТ 8925—68	д	b = 1; 3; 5	Предельное отклонение b по С. Неплоскость поверхностей А и Б не более 0,006 мм												
цилиндрические, ГОСТ 8926—68	е	<table border="1"> <tr> <td>d</td> <td>3</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>7</td> <td>10</td> </tr> </table>	d	3	5	D	7	10	Предельное отклонение d по С. Непрямолинейность образующей d не более 0,006 мм						
d	3	5													
D	7	10													

45. Пределы допускаемых погрешностей измерения (мм) линейных размеров (диаметров, длин) для допусков по стандартной системе допусков и посадок, ГОСТ 8.051—73

Виды пределов допускаемых погрешностей измерения	Классы точности и посадки при объектах измерения		Индекс погрешностей	Номинальные размеры, мм																								
	Валы	Отверстия		Д _в 0,1	С _в 0,3	Д _в 0,6	С _в 1,0	Д _в 1,8	С _в 3,0	Д _в 3,0	С _в 5,0	Д _в 8,0	С _в 12,0	Д _в 18,0	С _в 26,0	Д _в 36,0	С _в 50,0											
				06	07	08	09	Х ₁	Х ₁ , 2, кроме Гр, Х, Л, Ш, Т, Х	Х ₁ , 2, кроме Гр, Х _{2а} , Х, Л, Ш, ПР _{2а}	Х, Гр, 2а, Х _{2а} , ПР _{2а}																	
1	06	06	$\Delta_{\text{изд}}$ $\delta_{\text{изм}}$	1,2 0,4	1,5 0,5	1,5 0,5	2,0 0,7	2,0 0,8	2,5 0,8	2,5 0,8	3,0 1,0	3,0 1,0	4,0 1,4	4,0 1,4	5,0 1,7	5,0 1,7	6,0 2,0	6,0 2,0	7,0 2,4	7,0 2,4	8,0 2,8	8,0 2,8	10,0 3,5	10,0 3,5	12,0 4,0	12,0 4,0	15,0 5,0	15,0 5,0
2	07	07	$\Delta_{\text{изд}}$ $\delta_{\text{изм}}$	2,0 0,7	2,5 0,8	2,5 0,8	3,0 1,0	3,0 1,0	4,0 1,4	4,0 1,4	5,0 1,7	5,0 1,7	6,0 2,0	6,0 2,0	7,0 2,4	7,0 2,4	8,0 2,8	8,0 2,8	10,0 3,5	10,0 3,5	12,0 4,0	12,0 4,0	15,0 5,0	15,0 5,0	20 7,0	20 7,0	27 9,0	27 9,0
3	08	08	$\Delta_{\text{изд}}$ $\delta_{\text{изм}}$	3 1,0	4 1,4	4 1,4	5 1,7	5 1,7	6 2,0	6 2,0	7 2,4	7 2,4	8 2,8	8 2,8	10 3,5	10 3,5	12 4,0	12 4,0	14 4,5	14 4,5	16 5,5	16 5,5	20 7,0	20 7,0	27 9,0	27 9,0	35 11,0	35 11,0
4	1, кроме Х ₁	09	$\Delta_{\text{изд}}$ $\delta_{\text{изм}}$	4 1,4	5 1,7	5 1,7	6 2,0	6 2,0	8 2,8	8 2,8	11 4,0	11 4,0	13 4,5	13 4,5	15 5,0	15 5,0	18 6,0	18 6,0	20 7,0	20 7,0	23 8,0	23 8,0	27 9,0	27 9,0	30 11,0	30 11,0	35 11,0	35 11,0
5	Х ₁ ; 2, кроме Гр, Х, Л, Ш, Т, Х	1, кроме Х ₁	$\Delta_{\text{изд}}$ $\delta_{\text{изм}}$	6 1,8	8 2,5	8 2,5	11 3,0	11 3,0	13 4,0	13 4,0	15 4,5	15 4,5	18 5,5	18 5,5	21 6,0	21 6,0	24 7,0	24 7,0	27 8,0	27 8,0	30 9,0	30 9,0	35 11,0	35 11,0	40 12,0	40 12,0	45 13,0	45 13,0
6	Гр, Х, 2а, Х _{2а} , ПР _{2а}	Х ₁ , 2, кроме Гр, Х, Л, Ш	$\Delta_{\text{изд}}$ $\delta_{\text{изм}}$	10 3	13 4	13 4	16 5	16 5	19 6	19 6	23 7	23 7	27 8	27 8	30 9	30 9	35 11	35 11	40 12	40 12	45 13	45 13	50 15	50 15	60 18	60 18	73 20,0	73 20,0
7	Л, Ш, Т, Х, Х _{2а} , ПР _{2а}	Х, Гр, 2а	$\Delta_{\text{изд}}$ $\delta_{\text{изм}}$	14 3,5	18 4,5	18 4,5	22 5,5	22 5,5	27 7,0	27 7,0	33 8,0	33 8,0	39 10,0	39 10,0	46 11,0	46 11,0	54 13,0	54 13,0	63 16,0	63 16,0	73 20,0	73 20,0	84 25,0	84 25,0	95 30,0	95 30,0	110 35,0	110 35,0

Продолжение табл. 45

Ряды пределов допускаемых погрешностей измерения	Классы точности и посадки при объектах измерения		Индексы погрешностей	Номинальные размеры, мм															
				Валы	Отверстия	Св. 1	Св. 2	Св. 3	Св. 6	Св. 10	Св. 18	Св. 30	Св. 50	Св. 80	Св. 120	Св. 180	Св. 260	Св. 360	Св. 500
	8	9				10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
8	3, кроме Ш ₃	Л, Ш, А ₃ = С ₃ , Х ₃	Δ _{изд} δ _{изм}	20	25	30	35	45	50	60	70	80	90	100	120	180	260	360	500
9	Ш ₃	Ш ₃	Δ _{изд} δ _{изм}	33	40	50	60	70	85	100	115	135	150	170	225	30	35	40	190
10	3а	3а	Δ _{изд} δ _{изм}	40	48	58	70	84	100	120	140	160	185	215	250	30	40	50	250
11	4	4	Δ _{изд} δ _{изм}	60	80	100	120	140	170	200	230	260	300	340	380	50	70	70	380
12	5	5	Δ _{изд} δ _{изм}	120	160	200	240	280	340	400	460	530	600	680	760	150	140	150	760
13	7	7	Δ _{изд} δ _{изм}	250	300	360	430	520	620	740	870	1000	1150	1350	1550	300	250	300	1550
14	8	8	Δ _{изд} δ _{изм}	400	480	580	700	840	1000	1200	1400	1600	1900	2200	2500	500	400	500	2500
15	9	9	Δ _{изд} δ _{изм}	600	750	900	1100	1300	1600	1900	2200	2560	2900	3300	3800	700	600	700	3800

Требования к нормальным условиям выполнения линейных измерений в пределах 1—500 мм и измерений углов с длиной меньшей стороны до 500 мм установлены ГОСТ 8.050—73. Приняты следующие нормальные значения основных влияющих величин: температура окружающей среды 20° С; атмосферное давление 101324,72 Па (720 мм рт. ст.); относительная влажность окружающего воздуха 58% (нормальное парциальное давление водяных паров 1333,22 Па); ускорение свободного падения 9,8 м/с²; направление измерения линейных размеров у наружных поверхностей — вертикальное, в остальных случаях — горизонтальное; положение плоскости измерения углов — горизонтальное.

Пределы нормальной области значений влияющих величин (табл. 46) устанавливаются в зависимости от допусков и диапазона измеряемых размеров. Нормальной областью значений влияющих величин при линейных измерениях является область, при обеспечении которой выход действительного значения инструментальной погрешности (погрешности среднего измерения) за пределы допускаемой основной погрешности средств измерения не превышает величин, установленных стандартом (примерно $0,1\Delta_{\text{л}}$, где $\Delta_{\text{л}}$ — допуск измеряемой линейной величины). Под пределом допускаемой основной погрешности средства измерения понимают (ГОСТ 16263—70) наибольшую (без учета знака) погрешность средств измерений, используемых в нормальных условиях, при которой оно может быть принято годным и допущено к применению.

Погрешности обработки, вызываемые размерным износом инструмента. Размерный износ инструмента измеряют в направлении нормали к обрабатываемой поверхности и суммируют с другими погрешностями.

Экспериментально полученная зависимость размерного износа от пути резания имеет два характерных участка. Первый участок кривой определяется

46. Пределы допускаемых отклонений от нормальных при линейных измерениях

Ряды значений	Классы точности посадки	$\frac{\delta_{\text{изм}}}{\Delta_{\text{л}}} 100\%$	Пределы допускаемых отклонений			
			Направления линии измерения	Температуры объекта измерения и рабочего пространства (°С) при размерах в мм		
				Св. 1 до 18	Св. 18 до 50	Св. 50 до 500
I II III	02 03 04	35	±1°	±0,5 ±0,8 ±1,0	±0,2 ±0,3 ±0,5	±0,1 ±0,2 ±0,3
IV V VI VII VIII	05 06 07 08 09			±2°	±1,5	±1,0
IX X	1 2	30	±3°	±3	±2	±1
XI XII	2a 3			25	±5°	±4
XIII XIV	III _a 3a	20				

повышенным размерным износом вследствие приработки лезвия инструмента, второй — нормальным размерным износом, характерным для данных условий.

Линейная зависимость размерного износа инструмента от пути резания на втором основном участке позволяет принять за характеристику размерного износа относительный (удельный) износ на 1000 м пути резания μ_0 мкм/км. Путь резания (v м) при точении одной заготовки определяют по формуле

$$L_d = vt_{\text{маш}}$$

или

$$L_d = \frac{\pi D}{1000} \frac{l_d}{S},$$

где D — диаметр обрабатываемой поверхности, мм; l_d — длина обрабатываемой поверхности, мм; S — подача, мм/об.

Путь резания L_N для партии заготовок N , обрабатываемой в период между подналадками станка, и путь за период стойкости реза L_T соответственно равны:

$$L_N = L_d N; \quad L_T = vT.$$

Для того чтобы учесть более интенсивный начальный износ на первом участке кривой, условно принято увеличивать полученную расчетом длину пути резания на $L_H = 1000$ м. Тогда полная длина пути резания для партии деталей

$$L = L_N + L_H.$$

Приняв по нормативным или экспериментальным данным величину относительного размерного износа μ_0 реза для данных условий выполнения операции, определяют учитываемый в суммарной погрешности размерный износ Δu по формуле

$$\Delta u = \frac{L}{1000} \mu_0.$$

Ориентировочные величины относительного размерного износа резов приведены в табл. 47.

47. Значение относительного износа резов при чистовом точении

Материал режущего инструмента	Относительный износ μ_0 для обрабатываемого материала, мкм/км			
	Углеродистая сталь	Легированная сталь	Серый чугун	Чугун HB 375—400
T60K6	0,7—4	0,7—4	—	—
T30K4	3—4	4—6	—	—
T15K6	5—7	9—10	—	—
T5K10	8	12—13	—	—
BK9	—	65	—	—
BK8	—	17—25	13—14	—
BK6	—	—	14	—
BK4	—	25—30	—	—
BK3	—	9—10	6	16
BK2	—	—	4—26	12
ЦМ332	0,5—1	1—6	—	9

Примечание. Данные получены при следующих условиях: сталь углеродистая $\sigma_B = 50 \div 60$ кгс/мм² при скоростях резания 100—400 м/мин; сталь легированная $\sigma_B = 92 \div 110$ кгс/мм² при скоростях резания 100—200 м/мин; серый чугун HB 187—207 при скоростях резания 50—150 м/мин; данные по закаленному чугуну HB 375—400 относятся к тонкому растачиванию.

На размерный износ влияют материал режущего инструмента, конструкция, геометрия и состояние лезвия, режимы обработки, жесткость системы и другие факторы [19]. Например, зависимость радиального (размерного) износа от времени работы t (в мин), скорости резания v (в м/мин) для обработки деталей из стали 45 резцом с пластинкой твердого сплава Т15К6 может быть выражена формулой [19]:

48. Средние значения допустимого размерного износа инструмента при обработке партии заготовок, мкм

Выдерживаемый размер, мм	Обработка			
	черновая ¹	чистовая	тонкая	однократная
До 30	30—80	15	2	20
Св. 30 до 80	45—120	20	3	25
» 80 » 130	60—150	30	6	30
» 180 » 360	75—200	40	10	40
» 360 » 500	90—250	50	15	50

¹ Меньшие значения принимают при обработке точных черных заготовок (5—7-й классы точности), большие значения — при обработке грубых черных заготовок (8-й класс точности и грубее).

$$i = 107 \cdot 10^{-6} T^{0,87} v^{2,12} \text{ мкм.}$$

Однако в достаточной степени обобщенных зависимостей размерного износа инструмента от указанных факторов пока нет. Поэтому часто, определяя размерный износ для обрабатываемой партии деталей, исходят из ориентировочных величин относительного износа или задаются допустимой для данного вида обработки величиной размерного износа инструмента (табл. 48).

Влияние температурных деформаций на точность обработки. Теплота, образующаяся при резании, трении сопряженных деталей станков, а также внешнее тепловое воздействие приводит к упругой деформации технологической системы СПИД, появлению погрешностей обработки $\Sigma \Delta_T$.

Теплота в процессе резания образуется в результате [6, 7]: внутреннего

трения между частицами обрабатываемого материала в процессе деформации $Q_{\text{деф}}$; внешнего трения стружки о переднюю поверхность резца $Q_{\text{п.тр}}$ и поверхности резания, обработанной поверхности о задние поверхности резца $Q_{\text{з.тр}}$; отрыва стружки, диспергирования $Q_{\text{дисп}}$:

$$Q = Q_{\text{деф}} + Q_{\text{п.тр}} + Q_{\text{з.тр}} + Q_{\text{дисп}}$$

Так как механическая работа почти полностью переходит в теплоту,

$$Q = \frac{R}{E} = \frac{P_2 v}{E},$$

где Q — количество теплоты, ккал/мин; R — работа резания, кгс·м/мин ($R = P_2 v$); v — скорость резания; E — механический эквивалент теплоты ($E = 427$ кгс·м/ккал).

Распределение теплоты резания между стружкой, деталью, инструментом зависит от метода, условий обработки, материала обрабатываемой детали и инструмента. Так, при обработке точением материалов с высокой теплопроводностью (углеродистые стали) распределение теплоты таково: стружка 60—90%; инструмент 3—5%. При такой же обработке материалов с низкой теплопроводностью (жаропрочные, титановые сплавы) 35—45% всей теплоты резания переносится в деталь, 20—40% — в резец.

Наибольшее количество теплоты переходит в деталь при шлифовании (до 60—85%), сверлении (до 60%).

Для обработки деталей на станках характерен одновременный перенос теплоты теплопроводностью, конвекцией и излучением (сложный теплообмен). Изучение сложного теплообмена встречает известные трудности, которые на практике до сих пор удовлетворительно не решены. Задачей при исследовании

является установление температурного поля (совокупности значений температуры θ в данный момент времени τ для всех точек изучаемого пространства) — $\theta = f(x, y, z, \tau)$, где x, y, z — координаты точки. Следует заметить, что температурное поле является случайным для данного станка. Если температура тела есть функция координат и времени, то температурное поле будет нестационарным, т. е. зависящим от времени ($\partial\theta/\partial\tau \neq 0$). Такое поле соответствует неустановившемуся тепловому режиму теплопроводности, характерному для детали и станка в начальный период работы. Однако через некоторый промежуток времени происходит стабилизация теплообмена — температура точек станка есть функция только координат точек и не изменяется с течением времени ($\partial\theta/\partial\tau = 0$), температурное поле станка будет стационарным.

Средние величины деформаций, связанных со стационарными процессами, могут быть учтены при построении процесса и тем самым повышена точность обработки.

Расчет температурных полей сложных объектов обычно упрощают. Работаюана приближенная методика определения температурных деформаций деталей станков. Однако надежные данные по температурным полям, деформациям станков можно получить при экспериментальном исследовании. Только в простейших случаях, например при равномерном нагреве простой детали, можно вычислить изменение размера детали от температуры по соотношению $\Delta L = \alpha L \Delta\theta_d$, где L — размер детали; α — коэффициент линейного расширения материала детали; $\Delta\theta_d$ — изменение температуры детали. Так, при шлифовании деталей с охлаждением $\theta_d = (\theta_{ж} + 1,5) \pm 1$, где $\theta_{ж}$ — температура охлаждающей жидкости.

Обычно же при обработке из-за неравномерного нагрева происходит изменение размеров, формы и взаимного расположения поверхностей. Так, температура в различных точках станка отличается на 10 — 60°C , и это вызывает смещение и перекос оси шпинделя относительно оси детали.

Температура и температурные деформации станка в значительной степени определяются конструкцией узлов, фактическими зазорами и натягами в подшипниках, методом подачи и объемом смазки [23].

ГОСТами предусмотрено при испытании на точность станков проведение проверки на стабильность взаимного расположения рабочих органов под тепловой нагрузкой. Для круглошлифовальных станков линейное смещение оси шпинделя шлифовального круга относительно оси передней и задней бабок в результате разогрева на холостом ходу в течение 60 мин допускается 32 — 63 мкм соответственно для станков с наибольшим устанавливаемым диаметром 100 — 800 мм, а угловое смещение 4 мкм на длине 100 мм. Указанные отклонения относятся к станкам класса П. Для станков классов В и А отклонения меньше в $1,6$ и $2,5$ раза.

Следует отметить, что температурные деформации вызывают не только смещение узлов станка, но и изменение жесткости станков. Так, после разогрева бесцентрово-шлифовальных станков жесткость узлов его увеличилась в $1,5$ раза, уточнение по отклонению формы также — в $1,5$ раза [35].

Температурные деформации могут быть существенно уменьшены, если проводить определенные конструкторские, технологические и эксплуатационные мероприятия. Важнейшими из них являются следующие.

1. Обеспечение постоянства температурного поля в зоне установки станка: поддержание в цехе определенного температурного режима (табл. 49), установка прецизионных станков в специальных термоконстантных помещениях.

2. Уменьшение неравномерного нагрева станков в результате: а) вынесения внутренних источников тепла (электродвигателей, гидрприводов) за пределы станка; б) применения систем для поддержания определенной температуры смазочного масла СОЖ; в) искусственного подогрева отдельных частей станка.

3. Уменьшение влияния температурных деформаций за счет выбора материалов деталей и оптимальных направлений (не совпадающих с направлением выдерживаемого размера) температурных деформаций, применения устройств для компенсации температурных смещений.

49. Температурный режим в механических цехах

Назначение термоконстантных участков	Класс точности станка, на котором производят обработку	Допустимые отклонения δ температур от 20° С в зависимости от размера обрабатываемой поверхности, мм		
		$D = 100$	$D = 500$	$D = 1000$
Финишная обработка деталей типа валов и втулок, точных отверстий в шпиндельных коробках, с целью получения заданной посадки для узлов, определяющих высокую точность изготовления	В А, С	$\delta \pm 1,5$	$\delta \pm 1,0$	$\delta \pm 1,0$
		$\delta \pm 1,0$	$\delta \pm 0,5$	$\delta \pm 0,5$
Финишная обработка делительных зубчатых колес и дисков для получения заданного угла наклона профиля	В А, С	$\delta \pm 1,5$	$\delta \pm 1,0$	—
		$\delta \pm 1,0$	$\delta \pm 0,5$	—
Финишная обработка ходовых винтов для получения заданных отклонений по шагу	В А, С	$L = 1000$	$L = 2000$	$L = 4000$
		$\delta \pm 1,5$ $\delta \pm 1,0$	$\delta \pm 1,0$ $\delta \pm 0,5$	$\delta \pm 0,5$ $\delta \pm 0,25$
Нанесение делений на линейных штриховых мерах (металлических и стеклянных) для получения заданного размера	В А, С	$L = 500$	$L = 1000$	$L = 2000$
		$\delta \pm 1,0$ $\delta \pm 0,25$	$\delta \pm 0,5$ $\delta \pm 0,1^*$	$\delta \pm 0,25$ $\delta \pm 0,05^*$

* Работа выполняется на полуавтоматических делительных машинах, установленных в специальных кабинах. Оператор в процессе деления в кабине не присутствует

4. Эксплуатационные мероприятия: правильная установка станков, своевременное регулирование подшипниковых узлов, обработка точных деталей после достижения станком стационарного теплового состояния. Последнее связано с разогревом станка. Это мероприятие выполняют после длительного останова, на холостом ходу 20—30 мин.

При простейших расчетах учитывают удлинение резца при установившемся тепловом состоянии:

$$\Delta L_p = C \frac{L_p}{F} \sigma_B (tS)^{0,75} \sqrt{v} K_T,$$

где C — постоянная (при $t \leq 1,5$ мм; $S \leq 0,2$ мм/об; $v = 100 \div 200$ м/мин; $C = 4,5$); L_p — вылет резца; F — площадь поперечного сечения резца, мм²; $K_T = \frac{t_{осн}}{t_{шт}}$ — коэффициент, учитывающий охлаждение резца из-за перерывов в работе.

Температура резания при токарной обработке может быть вычислена по следующим приближенным соотношениям [6].

для деталей из стали ($\sigma_B = 77 \text{ кгс/мм}^2$, $\delta = 22\%$)

$$\theta = 166,5v^{0,4}t^{0,105}S^{0,2},$$

для деталей из чугуна

$$\theta = 138v^{0,36}t^{0,09}S^{0,133}.$$

При шлифовании различают температуру: мгновенную θ_m , развивающуюся непосредственно в зоне микрорезания шлифующим зерном и являющуюся высокой (от 1000°C до температуры плавления обрабатываемого материала) и кратковременной; контактную θ_k (среднюю в зоне шлифования), в зоне контакта круга с деталью ($\sim 200\text{--}1100^\circ\text{C}$); среднюю θ_c на поверхности шлифуемой детали ($\sim 20\text{--}350^\circ\text{C}$).

Местная температура при трении может достигать $250\text{--}1000^\circ\text{C}$. Средняя температура в коробках скоростей и других подобных узлах $65\text{--}80^\circ\text{C}$.

Полную погрешность обработки, связанную с температурными деформациями, обычно определить не удается. Приблизленно принимают для операций с жесткими допусками на обработку $\Sigma \Delta_T = 0,1 \div 0,4 \Delta_{\Sigma}$, причем для обработки лезвийным инструментом $\Sigma \Delta_T = 0,1 \div 0,15 \Delta_{\Sigma}$, при шлифовании $\Sigma \Delta_T$ составляет до $30\text{--}40\%$ суммарной погрешности Δ_{Σ} .

КОНТРОЛЬ ТОЧНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Контроль точности технологических процессов проводят с целью определения приближения действительных показателей процесса к их номинальным значениям, а также соответствия точностных характеристик оборудования нормам точности, установленным в нормативно-технической документации. При контроле выявляют факторы, приводящие к нарушению точности, определяют значимость влияния различных причин на точность технологического процесса (установление баланса точности) и границы регулирования параметров технологического процесса.

Контроль точности на стадии технологической подготовки производства и в процессе установившегося серийного и массового производства проводят при внедрении новой продукции, новых технологических процессов, оборудования и оснастки (а также после ремонта и модернизации), при аттестации качества продукции, плановой периодической проверке технологических процессов, при государственном надзоре или ведомственном контроле по требованию соответствующих органов.

Контроль точности выполняют по переходам и операциям с охватом всего процесса производства продукции в целом. Объектом контроля может быть продукция, оборудование, оснастка, вспомогательные материалы, деятельность работников, осуществляющих технологический процесс.

Точность технологического процесса оценивают по точности его элементов с учетом их взаимосвязи или по точности изготовляемой продукции. Устанавливают величины и функции распределения случайных и систематических погрешностей, зависимости между погрешностями изготовления контролируемых параметров. Показатели точности технологических процессов см. стр. 7.

Допускается оценка точности технологического процесса по показателям точности: наилучшему одному из параметров; усредненному, определяемому отношением суммы показателей точности, выраженных в процентах, к их числу:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{n};$$

одного из параметров, в наибольшей степени влияющего на эксплуатационные характеристики изделия в целом.

При оценке точности технологического процесса по изготавливаемой продукции контролируемые параметрами являются параметры, оказывающие решающее влияние на качество продукции и ход технологического процесса.

Оценка точности и стабильности технологических процессов, операций в условиях массового и серийного производства осуществляется по ГОСТ 16.305—74 отдельно по каждому параметру детали, оказывающему решающее влияние на функциональные показатели изделия в целом и лимитирующему нормальный ход технологического процесса. Предусматривается проведение (ГОСТ 16467—70) плановых и внеплановых проверок на стадии технологической подготовки и в процессе установившегося производства. Плановые проверки необходимо осуществлять: периодически, одновременно с проверками точности металлорежущих станков; при запуске новой продукции; при вводе новых станков и оснастки; после среднего и капитального их ремонта; при введении статистических методов контроля качества продукции.

Цели оценки: выявление факторов, приводящих к появлению дефектов изготовления или решающим образом влияющих на погрешности обработки; определение фактических точностных характеристик операций. В результате оценки: 1) разрабатывают и осуществляют мероприятия, обеспечивающие заданную точность изготовления; 2) устанавливают значения отдельных составляющих погрешностей изготовления, необходимых для расчета показателей точности и стабильности, а также для внедрения статистического регулирования технологических процессов, операций; 3) находят зависимости между погрешностями изготовления на различных операциях одного технологического процесса.

Основными характеристиками точности и стабильности технологических операций являются: величины случайных и несистематических погрешностей контролируемых параметров; функции изменения случайных и систематических погрешностей; зависимости между погрешностями изготовления контролируемых параметров.

При оценке точности и стабильности процессов, операций измеряют контролируемые параметры деталей и, при необходимости, строят графические зависимости, осуществляют статистическую обработку результатов измерения и их анализ.

Параметры детали измеряют специальными средствами с ценой деления шкалы не более $\frac{1}{8}$ поля допуска измеряемой величины. Для каждого параметра, например диаметра, в протоколах измерения записывают максимальное и минимальное абсолютное значение параметра или их отклонение от принятого начала отсчета. Обычно оговаривают место измерения (положение по длине, углу).

В зависимости от цели исследования берут различные выборки. Мгновенную (объемом 5—10 деталей) и общую выборки (из 10 и более мгновенных) получают последовательно на одном станке за межнастроечный период или с момента установки нового инструмента до его замены. Они позволяют оценить величину случайных и систематических (только общая выборка) погрешностей без учета погрешности настройки. Выборки из случайно отобранных 50—200 деталей, изготовленных при одной или нескольких настройках на одном станке или за несколько настроек на нескольких станках, позволяют определить совместное влияние случайных и систематических факторов на точность обработки (качество) деталей.

Результаты исследования могут быть представлены в виде графиков, по оси абсцисс которых откладывают номера деталей или время окончания их обработки, по оси ординат — погрешности или измеренные значения параметров. На график может быть нанесена одна или несколько реализаций случайного процесса $X(t)$.

Одна реализация получается при постоянных условиях обработки (одна партия, одна настройка, один режущий инструмент и т. д.).

При анализе погрешностей размера и формы (расположения поверхностей) на график наносят максимальные и минимальные значения диаметров (исследование размера и нецилиндричности, некруглости), линейные размеры, полу-

ченные относительно одной базы не менее чем в двух точках (исследование размера, непараллельности, неплоскостности). При анализе только погрешностей формы или расположения на график наносят разность или модули разностей соответствующих размеров; в случае исследования копирования погрешностей — две реализации соответствующих этапов обработки детали. Графики позволяют получить предварительную качественную характеристику точности операций.

Если по условиям производства имеется возможность получить более 10 реализаций, то точность операций оценивают по нескольким реализациям. В противном случае — по одной реализации — определяют характеристики точности операции при постоянных условиях обработки. Эти данные можно использовать для сопоставления характеристик при иных условиях.

По мгновенным выборкам в начальный (индекс 1) и конечный (индекс К) моменты обработки партии деталей определяют средние значения (центры группирования) контролируемого параметра \bar{X}_1 и \bar{X}_K . Величина систематической погрешности

$$\delta_c = \bar{X}_K - \bar{X}_1.$$

За величину случайной погрешности в t -й момент обработки δ_{mt} принимают величину мгновенного поля рассеяния, охватывающую 99,73% всех значений контролируемого параметра.

При нормальном законе распределения

$$\delta_{mt} = 6S_{mt},$$

где S_{mt} — среднее квадратическое отклонение, определяемое по мгновенной выборке в t -й момент обработки.

Способом наименьших квадратов получают функции $\bar{X}_t = f(t)$ и $\delta_{mt} = \varphi(t)$.

Если величина $\bar{X}_t \pm \frac{\delta_{mt}}{2}$ в момент окончания обработки партии деталей или перед очередной подналадкой не выходит за пределы верхнего или нижнего предельных отклонений поля допуска на операцию, то операцию считают соответствующей установленным требованиям.

При анализе операции по нескольким реализациям измерения проводят через равные отрезки времени (через одну или несколько деталей, причем общее число моментов измерений m не менее 10). Число реализаций n выбирают не менее 10.

Характеристики случайного процесса — математические ожидания $\hat{m}\{X(t_K)\}$ и дисперсии $\hat{D}\{X(t_K)\}$ в момент времени t_K рассчитывают по формулам

$$\begin{aligned} \hat{m}\{X(t_K)\} &= \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_j(t_K), \\ D\{X(t_K)\} &= \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n [X_j(t_K) - \hat{m}\{X(t_K)\}]^2 = \\ &= \frac{n}{n-1} \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n [X_j(t_K)]^2 - [\hat{m}\{X(t_K)\}]^2 \right], \end{aligned}$$

где $X_j(t_K)$ — значение j -й реализации в момент времени t_K . По полученным значениям способом наименьших квадратов находят функции $\hat{m}\{X(t_K)\} = f(t)$ и $\hat{D}\{X(t_K)\} = \varphi(t)$.

Величина систематической погрешности

$$\delta_0 = \hat{m} \{X(t_m)\} - \hat{m} \{X(t_1)\}.$$

Принимают, что операция обеспечивает заданную точность, если для каждого сечения (момента времени t_K) соблюдены следующие неравенства:

$$\hat{m} \{X(t_K)\} \pm 3\hat{\sigma} \{X(t_K)\} < \Delta_B$$

$$\hat{m} \{X(t_K)\} \mp 3\hat{\sigma} \{X(t_K)\} > \Delta_H,$$

где Δ_B, Δ_H — верхние и нижние предельные отклонения, определяющие границы поля допуска; $\hat{\sigma} \{X(t_K)\} = \sqrt{\hat{D} \{X(t_K)\}}$ — оценка среднего квадратического отклонения для момента времени t_K , вычисленная по всем реализациям. При смещении уровня настройки к верхней границе поля допуска принимать верхние знаки, при смещении к нижней границе — нижние знаки.

Если мгновенное поле рассеяния контролируемого параметра постоянно в процессе обработки партии деталей, а смещение уровня настройки происходит по линейной зависимости, то для каждой реализации

$$\hat{M}(X_i) \approx \bar{X}_i = v_j N_i + X_{0j},$$

где $\hat{M}(X_i)$ — значение уровня настройки в i -й момент времени; N_i — порядковый номер i -й детали; X_{0j} — значение случайной погрешности настройки для j -й реализации; v_j — значение случайной скорости смещения уровня настройки, численно равно тангенсу угла наклона прямой.

Для любого N_i по всем реализациям находят оценки среднего квадратического отклонения случайной погрешности $\hat{\sigma}_m$, математического ожидания погрешности настройки $\hat{M}(X_0)$, дисперсии погрешности настройки $\hat{\sigma}_{X_0}^2$, математического ожидания скорости смещения уровня настройки $\hat{M}(v)$, дисперсии скорости смещения уровня настройки $\hat{\sigma}_v^2$:

$$\hat{\sigma}_m \approx S_m = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - v_j N_i - X_{0j})^2};$$

$$\hat{M}(X_0) \approx \bar{X}_0 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{0j}; \quad \hat{\sigma}_{X_0}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (X_{0j} - \bar{X}_0)^2;$$

$$\hat{M}(v) \approx \bar{v} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n v_j; \quad \hat{\sigma}_v^2 \approx S_v^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (v_j - \bar{v})^2.$$

Принимают, что операция обеспечивает заданную точность, если в момент окончания обработки партии деталей или перед подналадкой

$$\hat{M}(X_0) - 3\hat{\sigma} \{X(N_1)\} > \Delta_H,$$

$$\hat{M}(X_{N_i}) + 3\hat{\sigma} \{X(N_i)\} < \Delta_B;$$

при смещении уровня настройки к верхнему предельному отклонению поля допуска или

$$\hat{M}(X_0) + 3\hat{\sigma} \{X(N_1)\} < \Delta_B,$$

$$\hat{M}(X_{N_i}) - 3\hat{\sigma} \{X(N_i)\} > \Delta_H;$$

при смещении уровня настройки к нижнему предельному отклонению поля допуска;

$$\hat{\sigma} \{X(N_1)\} = \sqrt{\hat{\sigma}_{X_0}^2 + \hat{\sigma}_m^2};$$

$$\hat{\sigma} \{X(N_i)\} = \sqrt{\hat{\sigma}_{X_0}^2 + \hat{\sigma}_m^2 + (\hat{\sigma}_v N_i)^2}.$$

Значение величины полного предельного рассеяния поля рассеяния контролируемого параметра

$$\omega_{\Sigma} = 3 [\hat{\sigma} \{X(N_1)\} + \hat{\sigma} \{X(N_i)\}] + \hat{M}(v) N_i.$$

Показатели точности и стабильности технологической операции определяют по ГОСТ 16467—70. По мгновенным выборкам за межнастроечный период вычисляют показатели уровня настройки K_N , смещения центра рассеяния K_{Σ} , межнастроечной стабильности $K_{M.c}$:

$$K_N = \frac{X_N - \bar{X}_1}{\delta}, \quad K_{\Sigma} = \frac{\bar{X} - \bar{X}_1}{\delta}, \quad K_{M.c} = \frac{S_k}{S_1},$$

где X_N — заданный центр настройки; δ — поле допуска на параметр; S_1 и S_k — средние квадратические отклонения в первой и последней мгновенных выборках.

Показатели рассеяния K_p и стабильности рассеяния K_c рассчитывают по выборкам (за исключением мгновенных):

$$K_p = \frac{\omega}{\delta}, \quad K_c = \frac{K_p(t_2)}{K_p(t_1)},$$

где $\omega = lS$ — поле рассеяния контролируемого параметра соответствующей выборки; l — коэффициент, зависящий от закона распределения значений параметров; $K_p(t_1)$, $K_p(t_2)$ — показатели рассеяния для моментов времени t_1 и t_2 .

Оценку точности технологических процессов, операций в условиях единичного и мелкосерийного производства (ГОСТ 16 306—74) производят расчетом и статистической обработкой приведенных отклонений — отклонений контролируемого параметра детали относительно его номинального значения, выраженного в относительных единицах. В тех случаях, когда число одноименных деталей меньше требуемого в выборке, этот метод позволяет рассчитать точность. Причем в одну выборку включают детали, характеризующиеся конструктивным подобием, общностью технологического процесса обработки (методы обработки, оборудование и оснастка, режущий инструмент, материал заготовки и т. д.) и отличающиеся номинальными размерами контролируемого параметра.

Приведенные отклонения для размеров i -й детали рассчитывают по одной из данных ниже формул относительно нижнего Δ_{ni} , верхнего Δ_{vi} предельных отклонений или координаты середины поля допуска, соответствующих данному номинальному размеру:

$$\Delta_{пр. i} = \frac{\Delta_{di} - \Delta_{ni}}{\delta_i}; \quad \Delta_{пр. i} = \frac{\Delta_{vi} - \Delta_{di}}{\delta_i}; \quad \Delta_{пр. i} = \frac{2(\Delta_{di} - \Delta_{oi})}{\delta_i},$$

где Δ_{di} — действительное отклонение i -й детали; δ_i — допуск на размер i -й детали.

Для отклонений формы и расположения поверхностей деталей, объединенных в одну выборку:

$$\Delta_{пр. i} = \frac{\Delta_{дi}}{\delta_{фi}},$$

где δ_{fi} — допуск на отклонение формы или расположения поверхностей i -й детали.

Погрешности обработки находятся в пределах поля допуска, если при расчетах по Δ_{oi} полученное значение Δ_{pri} удовлетворяет неравенству $-1 \leq \Delta_{pri} \leq 1$, в остальных случаях $0 \leq \Delta_{pr} \leq 1$.

Метод приведенных отклонений рекомендуют применять в случае, когда среднее квадратическое отклонение погрешностей обработки пропорционально соответствующему полю допуска.

Показатели точности и стабильности технологических операций вычисляют по приведенным отклонениям. Показатель уровня настройки относительно середины поля допуска в приведенных отклонениях (значение 0,5)

$$K_n = 0,5 - \bar{\Delta}_{pr},$$

где $\bar{\Delta}_{pr}$ — среднее арифметическое значение.

Показатель рассеяния

$$K_p = lS',$$

где l — коэффициент, зависящий от закона распределения значений приведенных отклонений; S' — среднее квадратическое отклонение приведенных отклонений.

Технологический процесс следует считать наиболее отработанным, если по всем контролируемым параметрам коэффициент рассеяния $K_p \leq 1$.

Показатель стабильности рассеяния погрешностей K_c рассчитывают по выборкам, взятым в разные моменты времени t_1 и t_2 ,

$$K_c = \frac{K_p(t_1)}{K_p(t_2)}.$$

Для двух сравниваемых единиц оборудования

$$K_{cp} = \frac{K_{p_1}(t)}{K_{p_2}(t)}.$$

ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ НА АГРЕГАТНЫХ СТАНКАХ И АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ¹

Операции обработки на агрегатных станках (АС) и автоматических линиях (АЛ) из агрегатных станков строятся по принципу концентрации технологических переходов. Это особенно относится к обработке отверстий корпусных деталей, когда на одной рабочей позиции АЛ с двух-трехсторонним расположением многшпindelных станков одновременно обрабатываются десятки отверстий. Требования чертежей к расположению осей отверстий в корпусных и других деталях объединяют отверстия в системы, характеризующие общими точностными задачами.

Точность координат осей отверстий на АС и АЛ обеспечивается расположением осей шпинделей станков на тех же координатах. Обработка отверстий производится с направлением инструментов во втулках или без направления (так называемая обработка «жестким шпинделем»). Рабочие позиции для обработки без направления инструмента конструктивно проще и удобнее в обслуживании.

¹ В разделе использованы результаты работ, проведенных автором вместе с В. Б. Борисовым, О. М. Деевым, Е. Ф. Никадимовым, В. В. Огородниковым, В. П. Тальчиковым.

Этот вариант обработки целесообразен для растачивания отверстий сравнительно больших диаметров при небольшой длине (отношение $\frac{l_x}{d_{ин}} \leq 5$).

Обработка с направлением инструмента во втулках возможна при жестком соединении инструмента со шпинделем или плавающим соединении. Сверление отверстий и в большинстве случаев зенкерование осуществляются при жестком соединении; развертывание выполняется как при жестком, так и плавающим соединении инструмента со шпинделем. Для растачивания, как правило, борштангу и шпиндель соединяют плавающим патроном. В этом случае инструмент ориентируется в пространстве втулками узла направления, а шпиндель, выполняющая роль привода, не влияет на точность расположения оси отверстия даже при значительном несовпадении осей.

Точность обработки отверстий по диаметральным размерам. Задачи обеспечения точности диаметральных размеров отверстий на АС и АЛ решаются обычными технологическими методами, при последовательном выполнении переходов черновой, получистовой и чистовой обработки, в зависимости от требуемого класса точности отверстий.

В табл. 50 приведены технологические маршруты обработки отверстий, осуществляемые на агрегатных станках с направлением инструмента.

Смещение оси отверстия с номинального положения при обработке инструментом, жестко связанным со шпинделем станка. Наиболее сложным при обработке систем отверстий является обеспечение требований точности расположения осей отверстий. Чертежом детали задаются требования точности на межосевое расстояние отверстий, на расстояние от баз или в иных вариантах. Во всех слу-

50. Технологические маршруты обработки отверстий и обеспечиваемая точность

Класс точности	Технологические переходы	Маршруты обработки при диаметрах, мм				
		до 18	18—30		св. 30	
			1	1	2	1
5	Сверление	+	+	+	-	-
4	Зенкерование черновое	-	+	+	+	-
	Растачивание черновое	-	-	-	-	+
3а	Зенкерование однократное	+	-	-	-	-
3=2а	Зенкерование чистовое	-	+	-	+	-
	Растачивание получистовое	-	-	+	-	+
	Развертывание предварительное	+	-	-	+	-
2	Развертывание окончательное	+	+	-	+	-
	Растачивание чистовое	-	-	+	-	+

Примечание. Крестиками обозначены технологические переходы, применяемые для вариантов 1 и 2 маршрутов обработки.

чаях основным элементом суммарной погрешности расположения осей отверстий является смещение оси одного отверстия с номинального (теоретического) положения.

Структура этой погрешности и методика определения ее величины зависят от условий выполнения операции и в первую очередь — от способа связи инструмента со шпинделем станка.

Величина смещения оси с номинального (теоретического) положения обуславливается под влиянием трех основных слагаемых: геометрического $\Delta_{ГН}$ и упругого $\Delta_{УИ}$ смещений оси инструмента, а также упругого смещения $\Delta_{УК}$ узла направления (кондукторной плиты):

$$\Delta_{СМ} = \Delta_{ГН} + \Delta_{УИ} + \Delta_{УК}. \quad (1)$$

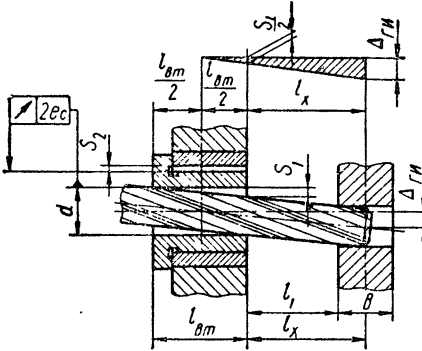


Рис. 12

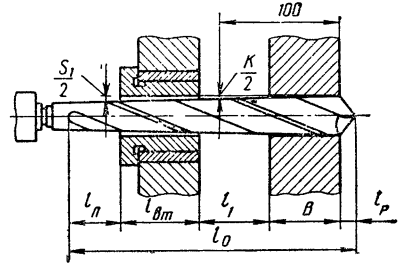


Рис. 13

Геометрическое смещение $\Delta_{ГН}$ инструмента зависит от величины зазора S_1 в сопряжении втулки—инструмент, зазора S_2 в сопряжении сменная — постоянная втулка и эксцентриситета e_c сменной втулки.

Величина смещения $\Delta_{ГН}$ оси инструмента обусловлена длиной втулки $l_{ВТ}$ и вылетом l_x конца инструмента (рис. 12). На основании анализа технических требований на изготовление сменных кондукторных втулок можно отметить незначительное влияние величин S_2 и e_c и в целях упрощения расчетов учесть влияние этих факторов коэффициентом. Тогда величина геометрического смещения оси инструмента будет

$$\Delta_{ГН} = n_1 \delta S_1 \left(0,5 + \frac{l_x}{l_{ВТ}} \right), \quad (2)$$

где n_1 — коэффициент, учитывающий погрешность, вносимую сменной втулкой в геометрическое смещение оси инструмента относительно оси постоянной втулки (относительно номинала), для сверления и зенкерования $n_1 = 1,1$, для развертывания $n_1 = 1,2$; δS_1 — поле рассеяния зазора между сменной втулкой и инструментом; $l_{ВТ}$ — длина сменной втулки; l_x — вылет инструмента за торец втулки.

Поле рассеяния зазора δS_1 определяется полями допусков на размер направляющего отверстия втулки и размер инструмента, а также минимальным гарантированным зазором:

$$\delta S_1 = k_1 \sqrt{\delta A_1^2 + \delta B_1^2 + \delta B_{ОК}^2} + S_{1\text{гар}}, \quad (3)$$

где δA_1 — поле допуска на размер отверстия сменной втулки; δB_1 — поле допуска на размер направляющей части инструмента (в определенном сечении); $\delta B_{ОК}$ — поле допуска на размер направляющей части инструмента от обратной

конусности; $S_{1 \text{ гар}}$ — минимальный гарантированный зазор посадки втулка — инструмент; k_1 — коэффициент относительного рассеяния случайных величин, $k_1 = 1,1$.

Поле рассеяния зазора $\delta B_{\text{ок}}$ от обратной конусности инструмента (рис. 13)

$$\delta B_{\text{ок}} = \frac{\delta_K (l_x - l_{\text{п}})}{100}, \quad (4)$$

δ_K — поле допуска на величину обратной конусности $\delta_K = K_{\text{max}} - K_{\text{min}}$; $l_{\text{п}}$ — длина перегачиваемой части инструмента за период его службы;

$l_{\text{п}} = l_0 - B - l_1 - l_{\text{вт}} - l_{\text{р}}$; (обычно $l_{\text{п}} = 25 \div 30$ мм).

Начальная величина зазора S_1 определяется выбранной посадкой сопряжения втулка—инструмент; на агрегатных станках обычно применяют посадки в системе вала (табл. 51 и 52).

51. Зазоры между втулкой и сверлом (ГОСТ 885—64)

Посадка отверстий	Диапазон размеров, мм	Нижнее отклонение (мкм) диаметра инструмента при его исполнении		Отклонение диаметра отверстия, мкм		Зазор S_1 , мкм					
		обычном	точном	верхнее	нижнее	$S_{1 \text{ max}}$			$S_{1 \text{ min}}$		
						обычное	точное	обычное	точное	обычное	точное
		Исполнение инструмента									
обычное	точное	обычное	точное	обычное	точное						
Х	Св. 6 до 10	-33	-22	33	13	66	55	13	13	39,5	34
	» 10 » 18	-43	-27	40	16	83	67	16	16	50	41,5
	» 18 « 30	-52	-33	50	20	102	83	20	20	61	51,5
	» 30 » 50	-62	-39	60	25	122	99	25	25	74	62
Д	Св. 6 до 10	-33	-22	21	5	54	43	5	5	29,5	24
	» 10 » 18	-43	-27	25	6	68	52	6	6	37	29
	» 18 » 30	-52	-33	30	8	82	63	8	8	45	35,5
	» 30 » 50	-62	-39	35	10	97	74	10	10	53,5	42
С	Св. 6 до 10	-33	-22	16	0	49	38	0	0	24,5	19
	» 10 » 18	-43	-27	19	0	62	46	0	0	31	23
	» 18 » 30	-52	-33	23	0	75	56	0	0	37,5	28
	» 30 » 50	-62	-39	27	0	89	66	0	0	44,5	33
Д ₁	Св. 6 до 10	-33	-22	14	5	47	36	5	5	26	20,5
	» 10 » 18	-43	-27	17	6	60	44	6	6	31	25
	» 18 » 30	-52	-33	20	7	72	53	7	7	39,5	30
	» 30 » 50	-62	-39	25	9	77	64	9	9	42	36,5

Примечания: 1. Обратная конусность инструмента назначается на 100 мм длины для диаметров: до 10 мм — 0,03—0,08, св. 10 до 18 мм — 0,04—0,10, св. 18 мм — 0,05—0,12.

2. Радиальное биение по ленточкам допускается для сверл диаметром 3—10 мм — 0,08—0,12 мм, св. 10 мм — 0,12—0,16 мм ГОСТ 2034—64.

3. Верхнее отклонение диаметра инструмента 0.

Величина обратной конусности определяется ГОСТами (см. табл. 51 и 52).

52. Зазоры между втулкой и зенкером (ГОСТ 1677—67)

Посадка отверстия	Размеры, мм	Нижнее отклонение диаметра зенкера, мкм	Отклонение диаметра отверстия		Величина зазора S_1 , мкм		
			верхнее	нижнее	$S_1 \max$	$S_1 \min$	S_{1cp}
Х	Св. 10 до 18	$\begin{matrix} \text{—} 24 \\ \text{—} 30 \\ \text{—} 36 \end{matrix}$	40	16	64	16	40
	» 18 » 30	$\begin{matrix} \text{—} 30 \\ \text{—} 36 \end{matrix}$	50	20	80	20	50
	» 30 » 50	$\text{—} 36$	60	25	96	25	60,5
Д	Св. 10 до 18	$\begin{matrix} \text{—} 24 \\ \text{—} 30 \\ \text{—} 36 \end{matrix}$	25	6	49	6	27,5
	» 18 » 30	$\begin{matrix} \text{—} 30 \\ \text{—} 36 \end{matrix}$	30	8	60	8	39
	» 30 » 50	$\text{—} 36$	35	10	71	10	40,5
С	Св. 10 до 18	$\begin{matrix} \text{—} 24 \\ \text{—} 30 \\ \text{—} 36 \end{matrix}$	19	0	43	0	21,5
	» 18 » 30	$\begin{matrix} \text{—} 30 \\ \text{—} 36 \end{matrix}$	23	0	53	0	26,5
	» 30 » 50	$\text{—} 36$	27	0	63	0	31,5
Д ₁	Св. 10 до 18	$\begin{matrix} \text{—} 24 \\ \text{—} 30 \\ \text{—} 36 \end{matrix}$	17	6	41	6	23,5
	» 18 » 30	$\begin{matrix} \text{—} 30 \\ \text{—} 36 \end{matrix}$	20	7	50	7	28,5
	» 30 » 50	$\text{—} 36$	25	9	61	9	35

Примечания: 1. Обратная конусность инструмента назначается на 100 мм длины для диаметров до 18 мм — 0,04—0,08, св. 18 мм — 0,05—0,10.
2. Радиальное биение по ленточкам для зенкеров диаметром до 18 мм — 0,04 мм, св. 18 до 30 мм — 0,05 мм, св. 30 мм — 0,06 мм.

Упругое смещение оси инструмента и кондукторной плиты вызывается влиянием неуравновешенных сил, действующих в диаметральном и осевом сечениях инструмента (рис. 14, а). Неуравновешенные силы появляются в результате неравномерной загрузки противоположащих зубьев осевого режущего инструмента при снятии ими неравномерного (эксцентричного) припуска. Изме-

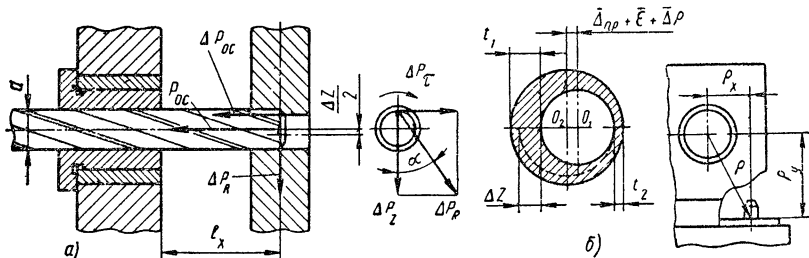


Рис. 14

нение величины припуска по периметру отверстия обуславливается смещением оси отверстия, подлежащего обработке, с оси инструмента перед обработкой.

Величина упругого отжатия $\Delta_{ук}$ узла направления инструмента (кондукторной плиты) зависит от его жесткости и жесткости инструментальной наладки. Она может быть выражена в зависимости от величины отжатия $\Delta_{уд}$ инструмента с помощью коэффициента n_3 .

По экспериментальным данным, при обработке отверстий диаметром до 20—25 мм при жесткости плиты $j_{кп} = (6\div 8) 10^3$ кгс/мм коэффициент $n_3 = 1,4\div 1,2$ (соответственно), а при $j_{кп} = 8 \cdot 10^3$ кгс/мм отжатием кондукторной плиты можно пренебречь ($n_3 = 1$).

Тогда величина упругого отжатия

$$\Delta_y = n_3 \Delta_{yи}. \quad (5)$$

При обработке отверстия с неравномерным припуском, жестко закрепленный инструмент можно рассматривать как консольную балку, работающую в условиях продольно-поперечного изгиба от силы $P_{ос}$ осевой подачи инструмента и неуравновешенных сил резания: осевой $\Delta P_{ос}$, радиальной ΔP_r и тангенциальной ΔP_t . Силы $P_{ос}$ и $\Delta P_{ос}$ оказывают относительно небольшое влияние на общую величину смещения оси инструмента. Учет их влияние коэффициентом n_2 . По расчетным и экспериментальным данным можно принять $n_2 = 1,4$.

Величину упругого отжатия инструмента $\Delta_{yи}$ определим из выражения

$$\Delta_{yи} = 1,4 \frac{\Delta P_r l_x^3}{3EJ}, \quad (6)$$

где

$$\Delta P_R = \sqrt{\Delta P_t^2 + \Delta P_r^2}; \quad (7)$$

l_x — длина вылета инструмента за торец втулки; E — модуль упругости первого рода $E = 2 \cdot 10^6$ кгс/см²; J — осевой момент инерции поперечного сечения инструмента,

$$J = cd^4,$$

d — диаметр инструмента.

По экспериментальным данным, значения коэффициентов c можно принимать следующими: для сверл — 0,011; для зенкеров трехзубых — 0,018 и четырехзубых — 0,023; для разверток — 0,026.

При обработке отверстий с эксцентрично расположенным припуском неуравновешенная радиальная сила направлена в сторону наименьшего припуска, а тангенциальная сила — перпендикулярно ей в сторону вращения шпинделя. Вектор погрешности $\Delta_{yи}$ практически совпадает с направлением вектора равнодействующей неуравновешенных сил ΔP_R и расположен под углом α к плоскости смещения припуска. Можно принять $\alpha = 41\div 45^\circ$.

Силу ΔP_R определяют по формулам теории резания, рассматривая каждый зуб режущего инструмента как расточной резец,

$$\Delta P_R = 0,25z \Delta Z C_R, \quad (8)$$

где z — число зубьев режущего инструмента; ΔZ — величина неравномерности припуска на обработку;

$$C_R = \sqrt{c_t^2 + c_r^2} = \sqrt{(c_1 s_k^y HB^n)^2 + (c_2 s_k^z HB^n)^2}. \quad (9)$$

Значения подкоренных величин определяют по нормативам режимов резания.

Неравномерность припуска (рис. 14, б)

$$\Delta Z = 2 \sqrt{\Delta_{np}^2 + \Delta \rho^2 + \varepsilon^2}, \quad (10)$$

где Δ_{np} — смещение оси отверстия от предшествующего перехода; $\Delta \rho$ — погрешность размеров между осью шпинделя и базовыми элементами позиции (рис. 14, б); ε — погрешность установки заготовки в позиции.

Подставив в выражение (8) значения величин из выражений (9) и (10), получим

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_R &= 0,25z \Delta Z \sqrt{(C_1 s_k^{y_1} HB^n)^2 + (C_2 s_k^{y_2} HB^n)^2} \\ \text{или} \\ \Delta P_R &= 0,5z \sqrt{(\Delta_{\text{пр}}^2 + \Delta \rho^2 + \varepsilon^2) [(C_1 s_k^{y_1} HB^n)^2 + (C_2 s_k^{y_2} HB^n)^2]} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Величина смещения оси отверстия с номинального положения. Величину $\Delta_{\text{см}}$ определяют подстановкой в выражение (1) выражений (2, 5, 6 и 10):

$$\Delta_{\text{см}} = n_1 \delta S_1 \left(0,5 + \frac{l_x}{l_{\text{вт}}} \right) + 1,4n_3 \frac{\Delta P_R l_x^3}{3EJ}; \quad (12)$$

$$\Delta_{\text{см}} = n_1 \delta S_1 \left(0,5 + \frac{l_x}{l_{\text{вт}}} \right) + 1,4n_3 \frac{l_x^3 \sqrt{\Delta_{\text{пр}}^2 + \Delta \rho^2 + \varepsilon^2}}{6EJ} C_R. \quad (13)$$

Определение слагаемых погрешности $\Delta_{\text{см}}$. Точностные расчеты можно выполнять для вновь проектируемого технологического процесса и для действующих автоматических линий и агрегатных станков.

На стадии проекта расчет ожидаемой погрешности смещения оси по выражениям (12) или (13) связан с выбором конструктивно-технологических параметров ($l_{\text{вт}}$, l_x , S_1 , E , J) и условий обработки (z , ΔZ , C_R).

Точностные расчеты для действующего оборудования выполняют при известных значениях ряда параметров и заданной величине допускаемой погрешности смещения оси $\Delta_{\text{см. доп}}$. Так, имеют определенное значение и остаются неизменными конструктивно-технологические параметры каждой позиции $l_{\text{вт}}$, l_x , каждой инструментальной наладки E , J и принятые условия обработки z , C_R .

Величина зазора S_1 в сопряжении втулка—инструмент изменяется под влиянием износа кондукторной втулки. Величина неравномерности припусков на обработку с входящими в нее погрешностями ε , $\Delta \rho$ и $\Delta_{\text{пр}}$ также не остаются постоянными во времени.

Подставив в выражение (13) вместо $\Delta_{\text{см}}$ величину допускаемого смещения оси $\Delta_{\text{см. доп}}$, можно найти предельные значения для любого параметра (S_1 , ε , $\Delta_{\text{пр}}$, $\Delta \rho$) из условий обеспечения заданной точности расположения оси отверстия.

Максимальная величина зазора S_1 между сменной втулкой и инструментом

$$S_{1 \text{ доп}} = \frac{\Delta_{\text{см. доп}} - \Delta_y}{n_1 \left(0,5 + \frac{l_x}{l_{\text{вт}}} \right)}. \quad (14)$$

Износ кондукторной втулки увеличивает геометрическое смещение оси инструмента вследствие увеличения зазора в сопряжении инструмента и втулки от кругового износа всей поверхности направляющего отверстия и одновременного уменьшения длины направляющей втулки за счет образования раструбов вблизи ее торцовых сечений.

Геометрическое смещение оси инструмента в изношенной втулке с учетом выражения (2) можно определить по формуле

$$\Delta'_{\text{ги}} = (n_1 S_1 + h) \left(0,5 + \frac{l_x}{l_{\text{вт}}} \right). \quad (15)$$

Величина h кондукторной втулки учитывает фактическое значение износа для определенного момента времени или приравнивается к допускаемой величине требуемой точностью обработки.

Для втулок с увеличенным вследствие износа зазором $S_1 + h$

$$\Delta_{\text{см}} = (n_1 S_1 + h) \left(0,5 + \frac{l_x}{l_{\text{вт}}} \right) + \Delta_{\text{ун}} \quad (16)$$

Подставив допускаемую величину смещения оси $\Delta_{\text{см. доп}}$ вместо $\Delta_{\text{см}}$ и решив уравнение относительно h , получим допускаемую величину износа втулки

$$h_{\text{доп}} = \frac{\Delta_{\text{см. доп}} - \Delta_{\text{ун}}}{0,5 + \frac{l_x}{l_{\text{вт}}}} - n_1 S_1 \quad (17)$$

Интенсивность износа кондукторной втулки связана с условиями ее нагружения, которые определяются реакциями от действующих при обработке сил. Расчет реакций сложен, так как они зависят от большого числа факторов: смещения осей Δ_{Σ} , длины втулки, радиального биения конца инструмента, неравномерности припусков, жесткости инструментальной наладки, зазора S_1 и режимных условий обработки (подача s мм/об). Реакции при зенкеровании на 20%, а при развертывании на 30% больше, чем при сверлении вследствие более высокой жесткости этих инструментов.

53. Наибольшие предельные отклонения диаметральных размеров отверстий (мм) кондукторных втулок в зависимости от допускаемого смещения оси отверстия при сверлении

Номинальный диаметр, мм	Длина кондукторной втулки, мм	Смещение оси отверстия $\Delta_{\text{см}}$, мм			Номинальный диаметр, мм	Длина кондукторной втулки, мм	Смещение оси отверстия $\Delta_{\text{см}}$, мм		
		0,075	0,125	0,25			0,075	0,125	0,25
4—8	22 18	0,047	0,092	0,181	12—18	45	0,031	0,077	0,181
		0,043	0,082	0,173		40	0,025	0,072	0,174
8—12	30 22	0,045	0,094	0,195	18—25	60	0,015	0,068	0,181
		0,031	0,079	0,170		45	—	0,051	0,162

Примечание. Значения отклонений подсчитаны для следующих условий: сверла нормальной точности; размеры отверстий в кондукторных втулках по посадке Д; длина вылета сверла $l_x = 1d$; смещение осей шпиндель—втулка $\Delta_{\Sigma} = 0,1$ мм; радиальное биение сверл $r = 0,14 \div 0,16$ мм.

В табл. 53 приведены данные, связывающие величины смещения осей отверстий относительно номинального положения с диаметральными размерами предельно изношенных втулок при сверлении.

Минимально необходимую длину сменной втулки можно определить из выражения

$$l_{\text{вт min}} = \frac{n_1 l_x \delta S_1}{\Delta_{\text{см. доп}} - \Delta_{\text{у}} - 0,5 n_1 \delta S_1} \quad (18)$$

В табл. 54 приведены втулки применяемых длин.

54. Длина направляющей части сменной кондукторной втулки, мм

Диаметр инстру- мента, мм	Втулки				Диаметр инстру- мента, мм	Втулки			
	по ОСТ низкие и высокие	на действующих автома- тических и поточных линиях из агрегатных станков				по ОСТ низкие и высокие	на действующих автома- тических и поточных линиях из агрегатных станков		
		Сверле- ние	Зенке- рование	Развер- тыва- ние			Сверле- ние	Зенке- рование	Развер- тыва- ние
4—8	15 25	26—33	—	—	18—25	30 50	35—60	45—60	45—65
8—12	18 28	26—40	—	31—40	25—34	41 66	—	55—90	55—90
12—18	25 40	35—45	35—45	35—55	34—45	53 88	—	55—90	60—90

Максимально допустимая величина погрешности $\Delta_{пр}$ предшествующего перехода на основе выражения (13) будет

$$\Delta_{пр} = \sqrt{\left[\frac{6EJ(\Delta_{см} - \Delta_{ГП})^2}{n_3 l_{4z} C_{Rl_x}^2} \right] - \Delta_{\rho}^2 - \varepsilon^2} \quad (19)$$

По этой формуле, начиная с последнего технологического перехода обработки отверстия, где $\Delta_{см} = \Delta_{см. доп}$, можно определить погрешности $\Delta_{пр}$ последовательно для всех переходов и допустимую погрешность расположения оси отверстия, полученного в литой заготовке $\Delta_{см. заг}$. При этом расчете находят и число технологических переходов, необходимых для обеспечения требуемой точности расположения оси отверстия у детали.

Аналогично величине $\Delta_{пр}$ из выражения (13) могут быть определены величины погрешностей установки ε и расположения оси сменной втулки Δ_{ρ} относительно баз.

Погрешность установки заготовок ε в рабочей позиции влияет на смещение оси данного обрабатываемого отверстия через упругие деформации [см. выражения (13) и (16)]. В то же время погрешность ε влияет на точность расположения данного отверстия относительно ранее обработанных поверхностей и баз.

Погрешность установки заготовок в позиции АЛ рассчитывают по методике, применяемой в технологии машиностроения, с учетом некоторых специфических особенностей установки в линиях.

Вместо неподвижных установочных пальцев на АЛ применяют выдвижные фиксаторы, и на погрешность базирования влияет суммарный зазор двух сопряжений: заготовка — верхняя часть фиксатора и направляющая втулка механизма фиксации — нижняя часть фиксатора. Кроме того, на АЛ при многократной фиксации заготовки, по мере прохождения обработки в ряде рабочих позиций, наблюдается изменение начального зазора посадки вследствие износа и разбивки базовых отверстий.

Фактическая погрешность установки заготовок возрастает во времени под влиянием износа верхних участков фиксаторов и износа в парах направляющая втулка — фиксатор (возрастает люфт фиксаторов).

Фактическая погрешность $\varepsilon_{ф}$ установки заготовки в позиции включает фактическую погрешность базирования заготовки $\varepsilon_{бф}$ и люфт фиксаторов $\varepsilon_{л}$:

$$\varepsilon_{ф} = \varepsilon_{б. ф} + \varepsilon_{л} \quad (20)$$

Погрешность базирования заготовки включает погрешности: теоретическую $\varepsilon_{\text{бт}}$ от базирования (рассчитанную по зазорам посадки), от износа и разбивки базовых отверстий заготовки; от износа фиксаторов на базовых участках. Выразим влияние износа коэффициентами $k_{\text{д}}$ и $k_{\text{ф}}$, тогда получим

$$\varepsilon_{\text{бф}} = \varepsilon_{\text{бт}} + k_{\text{д}}\varepsilon_{\text{бт}} + k_{\text{ф}}\varepsilon_{\text{бт}} = \varepsilon_{\text{бт}}(1 + k_{\text{д}} + k_{\text{ф}}). \quad (21)$$

Люфт фиксаторов определяем аналогично:

$$\varepsilon_{\text{л}} = \varepsilon_{\text{лт}}(1 + k_{\text{л}}). \quad (22)$$

Значения коэффициентов $k_{\text{д}}$, $k_{\text{ф}}$, $k_{\text{л}}$, полученные по экспериментальным данным, приведены в табл. 55.

Для установления допустимого износа фиксаторов на участке сопряжения с заготовкой и допустимого люфта фиксаторов во втулках механизма фиксации из условий обеспечения требуемой точности расположения оси обрабатываемого отверстия, сделаем некоторые преобразования.

Выражение (13) представим в виде

$$\Delta_{\text{см}} = \Delta_{\text{ги}} + K\varepsilon_{\text{ф}} + K\sqrt{\Delta_{\text{пр}}^2 + \Delta\rho^2} \quad (23)$$

при

$$K = \frac{1,4n_3 J^3 C_R}{6EJ}.$$

Решим уравнение относительно

$$\varepsilon_{\text{ф}} = \frac{\Delta_{\text{см}} - \Delta_{\text{ги}} - K\sqrt{\Delta_{\text{пр}}^2 + \Delta\rho^2}}{K}. \quad (24)$$

Рассчитав величину $\varepsilon_{\text{ф}}$ для $\Delta_{\text{см}} = \Delta_{\text{см. доп}}$ и ограничив определенными значениями другие составляющие, можно определить любое слагаемое из выражений (20)–(22). Одной из расчетных величин является погрешность от износа верхней части фиксаторов:

$$\varepsilon_{\text{фик}} = \varepsilon_{\text{ф}} - \varepsilon_{\text{бт}}(1 + k_{\text{д}}) - \varepsilon_{\text{л}}. \quad (25)$$

В табл. 56 приведены предельно допускаемые отклонения диаметральных размеров верхних участков фиксаторов и люфт фиксаторов из условий обеспечения заданной величины смещения оси отверстия.

Погрешность $\Delta\rho$ размера от оси постоянной кондукторной втулки до баз определяют для соответствующего конструктивного варианта узла направления инструмента и схемы базирования. Полученное значение не должно превышать предельной величины $\Delta\rho$, определяемой из выражения (13) при его решении относительно $\Delta\rho$.

На агрегатных станках со стационарной кондукторной плитой, часто используемых в автоматических линиях, погрешность при базировании заготовки на цилиндрическом 4 и ромбическом 2 пальцах (рис. 15)

$$\Delta\rho_{\text{с}} = \sqrt{\Delta_{\text{сб1}}^2 + \Delta e_{\text{п}}^2 + \Delta_{\text{обр}}^2 + \Delta e_{\text{п}}^2 + \Delta_{\text{сб2}}^2}, \quad (26)$$

где $\Delta_{\text{сб1}}$ — погрешность размера от оси отверстия под цилиндрический палец 4 относительно штифта 3, фиксирующего кондукторную плиту; $\Delta_{\text{сб2}}$ — погрешность запрессовки кондукторной втулки 5 в плиту 1; $\Delta_{\text{обр}}$ — погрешность расположения оси расточки в кондукторной плите под втулку 5 относительно оси отверстия под штифт 3; $\Delta e_{\text{п}}$ и $\Delta e_{\text{п}}$ — поля рассеяния величин эксцентриситетов для кондукторной втулки 5 и цилиндрического пальца 4.

6. Наибольшие предельные отклонения диаметральных размеров $\epsilon_{\text{фик}}$ фиксаторов и принятые величины люфтов $\epsilon_{\text{л}}$ при допусковом смещении $\Delta_{\text{см}}$ оси отверстия

Обработка	Принятые значения		Условные обозначения	$\epsilon_{\text{фик}}$ при $\Delta_{\text{см}}$, мм			
	$\Delta_{\text{пр}}$	$\Delta_{\text{ги}}$		0,075	0,1	0,125	0,15
Черновая	0,5—1,0	$0,4\Delta_{\text{см}}$	$\epsilon_{\text{фик}}$	—	0,028	0,089	0,122
			$\epsilon_{\text{л}}$	—	0,022	0,045	0,094
Получистовая	0,15—0,25	$0,6\Delta_{\text{см}}$	$\epsilon_{\text{фик}}$	0,042	0,068	0,098	0,106
			$\epsilon_{\text{л}}$	0,022	0,045	0,063	0,088
Чистовая	0,1—0,2	$0,7\Delta_{\text{см}}$	$\epsilon_{\text{фик}}$	0,019	0,043	0,057	0,075
			$\epsilon_{\text{л}}$	0,022	0,045	0,045	0,045
		$0,8\Delta_{\text{см}}$	$\epsilon_{\text{фик}}$	0,015	0,019	0,023	0,036
			$\epsilon_{\text{л}}$	0,007	0,022	0,022	0,045

Примечание. В расчетах принято следующее: диаметр сопряжения фиксатор—втулка 18—30 мм; диаметр базовых элементов 10—18 мм при посадках $\frac{A_{2a}}{X}$; $\frac{A_{2a}}{D}$, погрешность расположения оси втулки относительно оси цилиндрического фиксатора $\Delta\rho = 0,05$ мм для черновой и получистовой обработки и $\Delta\rho = 0,03$ мм для чистовой обработки.

Для агрегатного станка с подводимой кондукторной плитой и при базировании заготовки 7 на два пальца (рис. 16) погрешность $\Delta\rho$ от оси O втулки 5 до оси O_{ϕ} цилиндрического пальца 8 определится из выражения

$$\Delta\rho = \sqrt{\Delta_{\text{сб}_2}^2 + \delta e_{\text{п}_2}^2 + \delta e_{\text{ц}}^2 + \Delta_2^2 + \delta e_{\text{п}_1}^2 + \delta e_{\text{ф}_1}^2 + \delta e_{\text{ф}_2}^2 + \left(\frac{\delta S_3}{2}\right)^2 + \dots} \quad (27)$$

$$\dots + \Delta_{\text{сб}_{\text{р}_1}}^2 + \Delta e_{\text{п}}^2 + \Delta_{\text{сб}_1}^2,$$

где $\Delta_{\text{сб}_2}$ — погрешность запрессовки втулки 9 под палец 8; $\delta e_{\text{п}_2}$ и $\delta e_{\text{ц}}$ — поля рассеяния эксцентриситеты поверхности втулки 9 и цилиндрического пальца 8; Δ_2 — погрешность межосевого расстояния отверстий в приспособлении 1 под втулки 2 и 9; $\delta e_{\text{п}_1}$ и $\delta e_{\text{ф}_1}$ — поля рассеяния эксцентриситет поверхностей втулки 2 и фиксатора 3; δS_3 — поле рассеяния зазора в сопряжении фиксатор 3—втулка 4; $\delta e_{\text{ф}_2}$ — поле рассеяния эксцентриситеты поверхностей втулки 4; $\Delta_{\text{сб}_{\text{р}_1}}$ — погрешность расположения осей отверстий в кондукторной плите 6 под втулки 4 и 5; $\delta e_{\text{п}}$ — поле рассеяния эксцентриситеты поверхностей постоянной кондукторной втулки 5; $\Delta_{\text{сб}_1}$ — погрешность запрессовки втулки 5 в кондукторную плиту 6.

Поле рассеяния зазора в сопряжении втулки 4 — фиксатор 3

$$\delta S_3 = k_3 \sqrt{\delta A_3^2 + \delta B_3^2} + S_{3 \text{ гар}}, \quad (28)$$

где δA_3 и δB_3 — поля допусков на размеры соответственно отверстия во втулке 4 и направляющей поверхности фиксатора 3; $S_{3 \text{ гар}}$ — гарантированный зазор сопряжения; k_3 — коэффициент относительного рассеяния; $k_3 = 1,1$.

Погрешность расположения осей отверстий относительно баз и по межосевому расстоянию. Погрешность расположения оси отверстия может быть задана не в виде рассмотренного смещения с номинального положения, а как погрешность $\Delta_{\text{СМБ}}$ расположения от баз (или других ранее обработанных поверхностей), а также как погрешность взаимного расположения осей (межосевое расстояние).

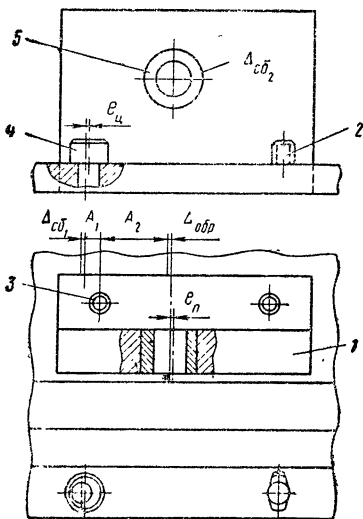


Рис. 15

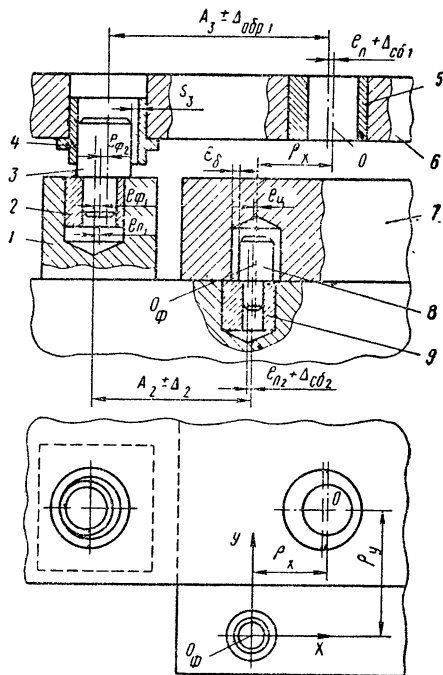


Рис. 16

Погрешность расположения оси отверстия в одной позиции относительно базы, кроме смещения $\Delta_{\text{СМ}}$ с номинального положения, включает погрешность $\Delta\rho$ расположения оси постоянной кондукторной втулки относительно базовых элементов приспособления и погрешность ε установки заготовки в позиции для обработки:

$$\Delta_{\text{СМБ}} = \sqrt{\Delta_{\text{СМ}}^2 + \Delta\rho^2 + \varepsilon^2}. \quad (29)$$

Погрешность межосевого расстояния $\Delta_{\text{МР}}$ отверстий для пары обрабатываемых через одну кондукторную плиту отверстий;

$$\Delta_{\text{МР}} = \sqrt{\Delta_{\text{СМ}1}^2 + \Delta_{\text{СМ}2}^2 + \Delta_{\text{КМР}}^2} \quad (30)$$

57. Формула для определения погрешностей смещения осей отверстий относительно баз $\Delta_{\text{см Б}}$ и по межосевому расстоянию $\Delta_{\text{мр}}$

Тип агрегатного станка (АС) и кондукторной плиты (КП)	Формулы
АС со стационарной КП	$\Delta_{\text{см Б}} = \sqrt{\Delta_{\text{см}}^2 + \Delta\rho_{\text{с}}^2 + \varepsilon^2} \quad (29, \text{ а})$ $\Delta_{\text{мр II}} = \sqrt{\Delta_{\text{см1}}^2 + \Delta_{\text{см2}}^2 + \Delta_{\text{к мр}}^2 + \varepsilon^2} \quad (32)$
АС с поворотной планшайбой и подвижной КП: КП общая для всех позиций, фиксация в основании стола	$\Delta_{\text{см Б}} = \sqrt{\Delta_{\text{см}}^2 + \Delta\rho_1^2 + \varepsilon^2} \quad (29, \text{ б})$ $\Delta\rho_1 = \sqrt{\Delta_{\text{с}}^2 + \Delta_{\text{ф о}}^2 + \Delta_{\text{н с}}^2} \quad (33)$
КП отдельные для каждой позиции	$\Delta_{\text{см Б}} = \sqrt{\Delta_{\text{см}}^2 + \Delta\rho_2^2 + \varepsilon^2} \quad (29, \text{ в})$ $\Delta\rho_2 = \sqrt{\Delta_{\text{с}}^2 + \Delta_{\text{ф пр}}^2} \quad (34)$
фиксация по приспособлению	$\Delta_{\text{мр II}} = \sqrt{\Delta_{\text{см1}}^2 + \Delta_{\text{см2}}^2 + \Delta_{\text{к мр}}^2 + \Delta_{\text{ф пр}}^2} \quad (32, \text{ а})$
АС с поворотным барабаном КП стационарная	$\Delta_{\text{см Б}} = \sqrt{\Delta_{\text{см}}^2 + \Delta\rho_4^2 + \varepsilon^2} \quad (29, \text{ г})$ $\Delta\rho_4 = \sqrt{\Delta\rho^2 + \Delta_{\text{н б}}^2} \quad (35)$ $\Delta_{\text{мр II}} = \sqrt{\Delta_{\text{см1}}^2 + \Delta_{\text{см2}}^2 + \Delta_{\text{к мр}}^2 + \Delta_{\text{н б}}^2} \quad (32, \text{ б})$
КП вращается вместе с барабаном	$\Delta_{\text{см Б}} = \sqrt{\Delta_{\text{см}}^2 + \rho_{\text{с}}^2} \quad (29, \text{ д})$ $\Delta_{\text{мр II}} = \sqrt{\Delta_{\text{см1}}^2 + \Delta_{\text{см2}}^2 + \Delta_{\text{к мр}}^2} \quad (32, \text{ в})$

Примечания: 1. Погрешность $\Delta\rho_{\text{с}}$ определяют по формуле (26), а $\Delta\rho$ — по формуле (27).

2. Погрешность $\Delta_{\text{мр}}$ отверстий, обработанных в одной позиции для станков всех типов и кондукторных плит определяют по формуле (30).

3. Обозначение $\Delta_{\text{мр II}}$ относится к погрешности межосевого расстояния отверстий, обрабатываемых в двух позициях.

4. Обозначения величин см. в табл. 58

где $\Delta_{см1}$ и $\Delta_{см2}$ — величины смещения осей обрабатываемых отверстий (1-го и 2-го); $\Delta_{к мр}$ — погрешность расположения осей обеих постоянных втулок в собранной плите стационарного типа:

$$\Delta_{к мр} = \sqrt{\Delta_{обр}^2 + \Delta_{сб}^2 + e_{п1}^2 + e_{п2}^2}, \quad (31)$$

где $\Delta_{обр}$ — погрешность межосевого расстояния расточек под втулки в кондукторной плите; $\Delta_{сб}$ — погрешность запрессовки втулок; $e_{п1}$ и $e_{п2}$ — эксцентриситеты кондукторных втулок.

При обработке отверстий в разных позициях станка или линии погрешность расположения их осей возрастает за счет дополнительных погрешностей, связанных с процессом индексации механизмов при перемещении заготовки, конструкцией кондукторных плит, способом фиксации подводимых кондукторных плит. Эти особенности отражаются на структуре погрешности Δ_r и погрешности $\Delta_{мр}$.

В табл. 57 приведены структурные формулы погрешностей для станков различных типов, а в табл. 58 — ориентировочные значения погрешностей.

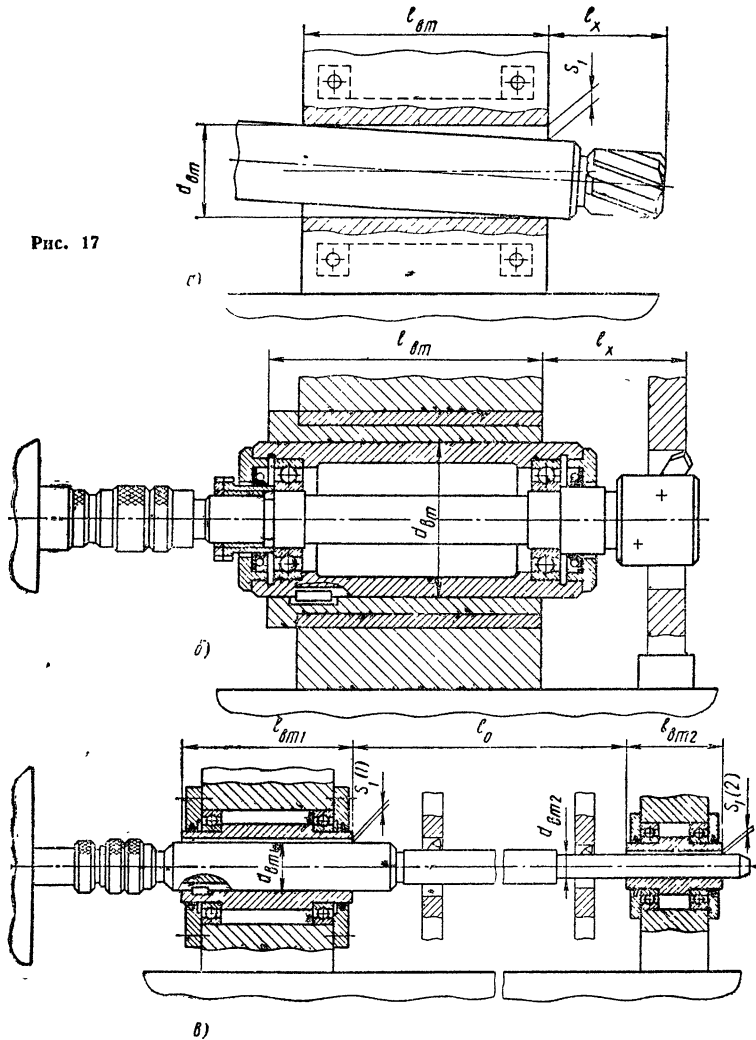
58. Ориентировочные значения погрешностей

Погрешность	Обозначение	Значения погрешностей, мм
Сборки плиты (смещение осей при запрессовке втулок)	$\Delta_{сб}$	0,015—0,025
Индексации стола и барабана	$\Delta_{ис}$, $\Delta_{иб}$	0,01—0,05
Фиксации кондукторной плиты: в основании стола	$\Delta_{фо}$	0,02—0,03
на приспособлении	$\Delta_{ф пр}$	0,03—0,04
Расположения оси постоянной кондукторной втулки относительно баз	$\Delta_{р}$	0,03—0,05
Отклонение межосевого расстояния кондукторной плиты	$\Delta_{обр}$	0,02—0,04
Эксцентричность втулок: повышенной точности	e_c	0,0025—0,005
пониженной точности		0,0075—0,009
Гарантированный зазор сопряжения фиксатор—заготовка	$S_{гар}$	0,013—0,014

Смещение оси отверстия при обработке инструментом, имеющим плавающее соединение со шпинделем станка. На агрегатно-расточных станках борштангу с инструментами присоединяют к шпинделю станка плавающим патроном; узлы направления инструмента выполняют в виде неподвижных или вращающихся втулок. Они могут быть одно-, двух- и многоопорными; применяют вспомогательный инструмент типа «скользящая втулка». Наружная поверхность скользящей втулки контактирует с неподвижной втулкой узла направления и имеет только поступательное движение, а борштанга, смонтированная внутри нее, вращается на подшипниках качения.

На рис. 17 приведены основные разновидности узлов направления агрегатно-расточных станков: одноопорные узлы на вращающихся втулках (рис. 17, а), типа «скользящей втулки» (рис. 17, б) и двухопорный узел (рис. 17, в). Для обработки отверстий при плавающем соединении инструмента со шпинделем характерны малые зазоры между направляющими поверхностями втулки и вспомогательного инструмента и большая длина направляющих втулок. Так, в одноопорных узлах направления для обработки зенкерованием при диаметре втулок $d_{вт} < 80$ мм их длина $l_{вт} = (3 \div 4) d_{вт}$, а при $d_{вт} > 80$ мм $l_{вт} = (2 \div 3) d_{вт}$. Зазоры сопряжения в случае обработки отверстий по 3-му, 3а классам точности

определяются посадкой движения 1-го класса точности $\frac{A_1}{D_1}$, а при обработке отверстий по 2-му классу точности необходима посадка $\frac{A_{08}}{D_{07}}$ по ГОСТ 11472—69. Если точность обработки выше 2-го класса, зазор в сопряжении вращающаяся втулка — инструмент назначается в пределах 5—8 мкм и обеспечивается приirkой.



Основными звеньями технологической системы являются узел направления (УН) инструмента и направляемый во втулках вспомогательный инструмент (ВИ); шпиндельный узел агрегатного станка, выполняя роль привода для инструмента, не влияет на точность обработки.

В табл. 59 приведены данные, характеризующие возможную точность обработки на расточных позициях АЛ при одноопорной схеме направления вспомогательных инструментов различных типов.

59. Точность обработки отверстий на расточных позициях с различными узлами направления (одноопорная схема)

Тип направления — втулки	Метод обработки	Класс точности диаметра отверстия	Смещение оси отверстия относительно баз, мм	Увод оси отверстия на глубине 20—25 мм	Некруглость отверстия, мм
Неподвижные	Зенкерование (сверление)	3—3а	0,030—0,090	0,012—0,050	0,007—0,020
	Развертывание (зенкерование)	2—3	0,030—0,060	—	0,006—0,010
	Растачивание (зенкерование)	2а—3	0,020—0,045	0,008—0,025	0,006—0,015
Вращающиеся	Зенкерование (сверление)	3—3а	0,025—0,100	0,005—0,040	0,006—0,010
	Развертывание (зенкерование)	2а—3	0,035—0,065	—	0,006—0,010
	Растачивание (зенкерование)	2а—3	0,020—0,045	0,005—0,020	0,005—0,012
Скользкие	Растачивание (зенкерование)	2а—3	0,020—0,050	0,008—0,040	0,009—0,020
Примечание. В скобках указана предварительная обработка.					

Погрешность расположения оси обрабатываемого отверстия на агрегатно-расточном станке при плавающем соединении инструмента со шпинделем возникает под влиянием тех же причин: геометрического смещения инструмента на зазоре посадки в узле направления и упругого смещения под влиянием неравномерных сил резания.

Геометрическое смещение Δ_r в общем случае для всех схем направления инструментов и типов вспомогательных инструментов зависит от величины зазора S_1 посадки узел направления — вспомогательный инструмент, погрешностей $\Delta_{ви}$ вспомогательного инструмента (смещение оси вращения инструмента относительно оси направляемой поверхности) и погрешности $\Delta_{ун}$ узла направления инструмента (смещение оси направляющей поверхности втулки, относительно номинального расположения):

$$\Delta_r = \varphi(S_1, \Delta_{ви}, \Delta_{ун}).$$

Степень влияния каждого из указанных факторов неодинакова для различных методов обработки (зенкерование, растачивание), схем направления инструмента (одноопорный или двухопорный узел) конструкций вспомогательного инструмента и узла направления инструмента.

Упругое смещение инструмента на расточных позициях АЛ зависит от податливости звеньев технологической системы и действующих в этой системе неуравновешенных сил, возникающих при снятии инструментом неравномерного (эксцентричного) припуска:

$$\Delta_y = f(W_{\text{сист}}, \Delta PR).$$

Действующие в системе силы и неуравновешенная равнодействующая ΔPR определяются на основе теории резания с учетом условий обработки (подачи s , твердости обрабатываемого материала, глубины резания и ее неравномерности). Неравномерность припуска ΔZ возникает в результате смещения оси подлежащего обработке отверстия относительно оси шпинделя в данной позиции под влиянием погрешности $\Delta_{\text{пр}}$ предшествующего перехода, погрешности Δr расположения оси направляющей втулки относительно базовых элементов позиции и погрешности в установке заготовки в данной позиции и определяется по формуле (10).

Следует заметить, что важным фактором повышения жесткости технологической системы агрегатно-расточного станка является сохранение в эксплуатации малых зазоров ($S_1 = 10\text{--}15$ мкм). Ниже приведено определение погрешностей расположения осей отверстий для одноопорной схемы узла направления инструмента.

Смещение оси инструмента в результате перекоса инструмента в отверстии втулки на заоре посадки определяется по формуле

$$\Delta S_1 = S_1 \left(0,5 + \frac{l_x}{l_{\text{вт}}} \right);$$

однако при чистовой обработке отверстия большого диаметра, когда вес вспомогательного инструмента значительно больше силы резания, вместо перекоса наблюдается смещение оси борштанги параллельно оси втулки при выборе зазора S_1 в одну сторону. В этом случае

$$\Delta S_1 = \frac{S_1}{2}. \quad (36)$$

Узлы направления расточных позиций АЛ представляют довольно сложные конструкции и погрешности, влияющие на координаты осей обрабатываемых отверстий, определяются расчетом размерных цепей.

Погрешность положения осей отверстий неподвижной и вращающейся втулок можно рассматривать относительно номинального расположения, баз позиции или осей других направляющих втулок.

Вспомогательный инструмент, выполненный в виде цельной борштанги, не может вызвать смещений оси обрабатываемого отверстия ($\Delta_{\text{ВИ}} = 0$). Имеющееся смещение оси участка борштанги, несущего инструмент, с оси направляемого во втулке участка, может только увеличить диаметр отверстия. Погрешности изготовления и сборки скользящей втулки могут влиять на положение оси обрабатываемого инструмента; для унифицированных типов скользящих втулок $\Delta_{\text{ВИ}} = 10\text{--}40$ мкм.

Формулы для определения смещения оси отверстия относительно номинального расположения при использовании цельной борштанги ($\Delta_{\text{ВИ}} = 0$) имеют вид: при зерновании

$$\Delta_{\text{СМ}} = \sqrt{\Delta S_1^2 + \Delta_y^2 + \Delta_{\text{УН}}^2}; \quad (37)$$

при черновом растачивании резцом ($\Delta S_1 = 0$)

$$\Delta_{\text{СМ}} = \sqrt{\Delta_y^2 + \Delta_{\text{УН}}^2}; \quad (38)$$

при чистовом развертывании ($\Delta_y \approx 0$)

$$\Delta_{\text{СМ}} = \sqrt{\Delta S_1^2 + \Delta_{\text{УН}}^2}. \quad (39)$$

Смещение оси отверстия относительно баз должно учитывать погрешность установки заготовки в расточной позиции, которая определяется в соответствии с выражениями (20), (21), (22), (25):

$$\Delta_{\text{см Б}} = \sqrt{\Delta S_1^2 + \Delta_y^2 + \Delta_{yH}^2 + \epsilon_{\Phi}^2} \quad (40)$$

Погрешность межосевого расстояния двух отверстий, обрабатываемых в одной позиции, определяют по формулам: при зенкеровании

$$\Delta_{\text{мр}} = \sqrt{\Delta_{yH \text{ мр}}^2 + \Delta S_{1(1)}^2 + \Delta S_{1(2)}^2 + \Delta_y^2(1) + \Delta_y^2(2)}, \quad (41)$$

при растачивании резцом

$$\Delta_{\text{мр}} = \sqrt{\Delta_{yH \text{ мр}}^2 + \Delta_y^2(1) + \Delta_y^2(2)}, \quad (42)$$

где $\Delta_{yH \text{ мр}}$ — погрешность межосевого расстояния двух втулок узла направления; $\Delta S_{1(1)}$ и $\Delta S_{1(2)}$ — смещение осей инструментов за счет зазора в первой и второй втулках; $\Delta_y(1)$ и $\Delta_y(2)$ — смещение осей первого и второго отверстий из-за упругих деформаций.

Погрешность межосевого расстояния двух отверстий, обработанных в разных позициях, обусловлена, кроме перечисленных факторов, влиянием погрешности установки заготовки во второй позиции.

В образовании суммарной погрешности смещения оси отверстия удельное значение первичных погрешностей непостоянно и зависит от выполняемой операции (черновая или чистовая), метода обработки отверстия (зенкерование, развертывание, растачивание), конструкции узлов направления и борштанги и др.

При черновой обработке отверстий доминирующее значение в погрешности смещения оси могут иметь погрешности, вызываемые упругими деформациями технологической системы (до 60—65%), а влияние зазора не превышает 10%; при чистовой обработке — погрешность узла направления (до 60%) и влияние зазора (до 25%).

В табл. 60 приведены экспериментальные данные, характеризующие удельное значение слагаемых суммарной величины смещения оси для одноопорных узлов направления различных типов.

60. Баланс погрешностей (в %), образующих смещение оси отверстия относительно баз. Схема 1 — опорная (по экспериментальным данным)

Погрешность	Узел направления — втулка				
	вращающаяся		неподвижная		скользящая
	Зенкерование (черновое)	Растачивание (чистовое)	Зенкерование (черновое)	Растачивание (чистовое)	
Установка заготовки ϵ_{Φ}	20—30	45—60	30—34	55—60	48—52
Узла направления инструмента Δ_{yH}	10—13	32—27	12—16	25—29	32—36
Вызванная упругими отжатыми Δ_y	55—47	12—7	43—39	10—5	10—6
Вызванная зазором втулка—инструмент ΔS_1	15—10	10—6	13—11	10—6	10—6

Требования точности к отдельным параметрам при проектировании и эксплуатации агрегатно-расточных станков назначают с учетом допускаемой величины смещения оси. Приняв в формуле (37)–(40) $\Delta_{\text{см доп}} = \Delta_{\text{см доп}}$ и ограничив величины прочих параметров, можно определить значение искомого. Так, погрешность одноопорного узла направления при обработке зенкером определяют на основе (37):

$$\Delta_{\text{УН}} = \sqrt{\Delta_{\text{см доп}}^2 - \Delta S_1 - \Delta_{\gamma}^2}. \quad (43)$$

В табл. 61 приведены предельные величины зазора S_1 , при которых смещение оси отверстия не превысит указанных значений. При расчете принято следующее: смещение оси, вызванное упругими деформациями, $\Delta_{\gamma} = 0,017 \div 0,02$ мм при погрешности предшествующего перехода $\Delta_{\text{пр}} = 0,5 \div 0,8$ мм. Узел — одноопорный типа вращающейся втулки.

61. Наибольшие предельные величины зазора S_1 в сопряжении втулка—инструмент для обеспечения точности расположения оси отверстия
Размеры в мм

d_0	$l_{\text{ВТ}}$	l_x	$\Delta_{\text{УН}}$	$\Delta_{\text{см}}$ при начальном зазоре S_H , посадка $\frac{A_{06}}{D_{07}}$	S_1 при смещении оси отверстия			
					0,05	0,06	0,07	0,08
20—30	140	40	0,031	$S_H = 0,044$ $S_H = 0,009$	0,022	0,036	0,052	0,064
30—50	170	60	0,034	$S_H = 0,048$ $S_H = 0,015$	0,018	0,032	0,047	0,060
50—60	200	75	0,038	$S_H = 0,054$ $S_H = 0,017$	—	0,030	0,038	0,057

Примечание. Обозначения: d_0 — диаметр сопряжения; $l_{\text{ВТ}}$ — длина втулки; l_x — длина вылета инструмента; $\Delta_{\text{УН}}$ — погрешность узла направления.

Особенности определения погрешностей расположения осей отверстий для двухопорных схем направления. В двухопорном узле направления смещение оси инструмента за счет зазоров определяется относительно оси одной из направляющих втулок или общей оси втулок. Расчеты, связанные со смещением оси в двухопорном узле, значительно сложнее, чем в одноопорном из-за влияния ряда дополнительных факторов. Здесь на величину смещения оси влияют зазоры сопряжения в двух втулках, их длина, расстояние между втулками и смещение их осей. Смещение определяют из геометрических соотношений параметров узла направления инструмента аналогично рассмотренному.

Геометрическое смещение оси расточного инструмента на зазорах в двухопорном узле (см. рис. 17, в) для характерного случая (смещение e осей отверстий втулок, длины втулок и зазоры в их сопряжениях с борштангой не равны между собой: $S_1 \neq S_1(2)$ и $l_{\text{ВТ}(1)} \neq l_{\text{ВТ}(2)}$) определяют по формуле

$$\Delta_{\text{ГР}} = \frac{S_1(1)}{2} + e + \frac{S_1(2) + S_1(1)}{2} \cdot \frac{l_x}{l_0 + l_{\text{ВТ}(2)}}. \quad (44)$$

Аналогичные формулы могут быть выведены для различных случаев.

ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Факторы, влияющие на выбор способа получения заготовки. Правильно выбрать заготовку — это значит сделать рациональный метод ее получения, установить припуски на механическую обработку каждой из обрабатываемых поверхностей, указать размеры заготовки и установить допуски на неточность их изготовления, назначить уклоны и технические условия на выполнение заготовки. Целесообразность и экономическая эффективность того или иного вида заготовки зависят от многих факторов и в первую очередь от серийности производства. Особенно важно правильно выбрать вид заготовки и назначить наиболее оптимальные условия на ее изготовление в условиях автоматизированного производства, когда размеры детали при механической обработке получаются автоматически на предварительно настроенных станках. Здесь недостаточные припуски также вредны, как и излишние, а неравномерная твердость материала или большие уклоны на заготовке могут вызвать большие колебания в допусках размеров готовой детали вследствие закона копирования.

Основными технологическими процессами получения заготовок являются литье, обработка давлением и сварка.

Сварку как самостоятельный процесс формообразования заготовки можно рассматривать только условно, поскольку ее применяют для неразъемного неподвижного соединения отдельных частей заготовки, ранее полученных на основе других процессов.

Выбор технологического процесса получения заготовки и метода ее формообразования определяется следующими факторами:

1) технологическими свойствами материала, т. е. его литейными свойствами или способностью претерпевать пластические деформации при обработке давлением, а также структурными изменениями материала в результате применения того или иного способа изготовления заготовки (расположение волокон в поковках, величина зерна в литых деталях и т. п.);

2) конструктивными формами и размерами детали (чем больше деталь, тем дороже обходится изготовление металлических форм, штампов и т. п.);

3) требуемой точностью выполнения заготовки и качеством ее поверхности (шероховатость поверхности, наклеп, остаточные напряжения и т. п.);

4) величиной программного задания (при больших партиях наиболее выгодны способы, которые обеспечивают наибольшее приближение формы и размеров заготовки к форме и размерам детали: точная штамповка, литье под давлением и т. п.);

5) производственными возможностями заготовительных цехов (наличием соответствующего оборудования);

6) временем, затрачиваемым на подготовку производства (изготовление штампов, моделей, пресс-форм и т. п.);

7) возможностью быстрой переналадки оборудования и оснастки, особенно при работе на переменнo-поточных линиях, характерных для автоматизированного производства.

Последовательность выбора заготовки. Сначала устанавливают, какой технологический процесс наиболее подходит для изготовления детали, который определяет вид заготовки: слесарка, поковка, штамповка, прокат. Одновременно необходимо проследить возможность копирования различных технологических

процессов применительно к возможностям производства (литье—сварка, обработка давлением — сварка и т. п.). Затем выбирают метод формообразования заготовки (литьем в песчаные, стержневые или металлические формы; ковкой, ковкой в подкладных штампах и т. п.) с проверкой возможности применения комбинирования различных способов формообразования заготовки при данном процессе (ковка — ковка в подкладных штампах, вальцовка — штамповка и т. п.) или комбинирование способов формообразования различных процессов (прокат — сварка взрывом, листовая штамповка — точечная контактная сварка и т. п.) и выбор оборудования (штамповка на молотах, прессах, ГКМ и т. п.). От вида оборудования зависят точность изготовления заготовки, припуски, напуски, уклоны и т. п.

В первую очередь выбирают такой способ изготовления заготовки, который полностью обеспечивает точность и качество детали, а также условия работы, например направление волокон, плотность и пр. При наличии нескольких способов выбор делают исходя из условий обеспечения максимальной производительности труда и минимальной себестоимости заготовки. В некоторых случаях необходимо учитывать трудоемкость изготовления заготовки на всех операциях технологического процесса, например изготовление моделей, формовка, получение стержней, заливка, очистка, термообработка и эффективность капитальных затрат.

Трудоемкость изготовления детали должна определяться комплексно с учетом операций в заготовительных и механических цехах.

Общие рекомендации по выбору заготовок. Корпусные коробчатые детали закрытого типа, в которых монтируют рабочие механизмы и узлы машин (корпуса двигателей и передаточных механизмов, станины, коробки и цилиндры), независимо от типа производства целесообразно изготавливать литьем.

Корпусные коробчатые детали открытого типа, на которых монтируют рабочие механизмы и двигатели (рамы, корпуса), а также детали, связывающие отдельные узлы машин и одновременно (частично) выполняющие функции корпусных, но с меньшими размерами (кронштейны, траверсы), при серийном производстве целесообразно изготавливать литьем. В мелкосерийном и единичном производстве их рациональнее изготавливать сварными.

Детали узлов машин: 1) зубчатые колеса, маховики, блоки, ступицы, корпуса и крышки подшипников, тройники, рычаги, серьги в серийном производстве изготавливают литьем преимущественно в тех случаях, когда их целесообразно изготавливать штамповкой на высокопроизводительном оборудовании; в мелкосерийном и единичном производстве их выполняют литьем;

2) гладкие и ступенчатые валы с небольшим перепадом диаметров ступеней, стаканы, втулки, кольца в серийном и единичном производстве целесообразно изготавливать из проката (сортового, листового и трубного);

3) балки, кронштейны, плиты в серийном и единичном производстве целесообразно изготавливать из профильного сортового проката (уголки, швеллеры, балки) с применением, если необходимо, сварки.

В крупносерийном и массовом производстве детали 2-й и 3-й групп рационально изготавливать из периодического и специального фасонного проката и прессованных профилей. Многие детали следует изготавливать из тонкостенных гнутых профилей; они легче и жестче, чем равнопрочные им горячекатаные профили. Основным показателем приближения формы заготовки к форме готовой детали является коэффициент использования металла.

ОТЛИВКИ

Сравнительная характеристика способов изготовления отливок, их особенность и область применения приведены в табл. 1.

1. Способы изготовления отливок, их особенность и область применения

Способ изготовления отливок	Масса отливки, т	Материал	Особенность способа и область применения
Разовые формы			
Ручная формовка: в почве с верхом	До 200	Сталь, серый, ковкий и высокопрочный чугун, цветные металлы и сплавы	Станины, корпуса машин, рамы, цилиндры, шаботы молотов, траверсы
по шаблону	До 100		Отливки в виде тел вращения (зубчатые колеса, кольца, диски, трубы, шкивы, маховики, котлы, цилиндры)
в крупных опоках			Станины, бабки, коробки скоростей, блоки цилиндров
в съемных опоках со стержнями из быстротвердеющей смеси	До 35		Станины ГҚМ, болтосадовых автоматов, ножиц; позволяет уменьшить припуски на 25—30% и трудоемкость механической обработки на 20—25%
в почве с верхней опокой с облицовочным слоем из быстротвердеющей смеси	До 25		Шаботы, станины, цилиндры; позволяет снизить трудоемкость изготовления заготовки и механической обработки за счет уменьшения припусков на 10—18%
в стержнях	До 2		Отливки со сложной ребристой поверхностью (головки и блоки цилиндров, направляющие)
в почве открытая	До 0,15		Отливки, не требующие механической обработки (плиты, подкладки)
в мелких и средних опоках	До 0,1		Рукоятки, шестерни, шайбы, втулки, рычаги, муфты, крышки
Машинная формовка: в крупных опоках	До 2		Бабки, суппорты, корпуса небольших станин
в мелких и средних опоках	До 0,1		Шестерни, подшипники, муфты, маховики; позволяет получить отливки повышенной точности с чистой поверхностью

Продолжение табл. 1

Способ изготовления отливок	Масса отливки, т	Материал	Особенность способа и область применения
Литье в оболочковые формы: песчано-смоляные	До 0,15	Сталь, чугун и цветные сплавы	Ответственные фасонные отливки в крупносерийном и массовом производстве
химически твердеющие тонкостенные (10—20 мм)	До 0,2		Ответственные фасонные мелкие и средние отливки
химически твердеющие толстостенные (толщиной 50—150 мм)	До 40		Большие отливки (станины штамповочных молотов, подушки прокатного стана)
жидкостекольные оболочковые	До 0,1	Углеродистые и коррозионностойкие стали, кобальтовые, хромистые и алюминиевые сплавы, латунь	Точные отливки с высокой чистой поверхности в серийном производстве
Литье по выплавляемым моделям	До 0,15	Высоколегированные стали и сплавы (за исключением щелочных металлов, реагирующих с кремнеземом облицовочного слоя)	Лопатки турбин, клапаны, дюзы, шестерни, режущий инструмент, детали приборов. Керамические стержни позволяют изготавливать отливки толщиной 0,3 мм и отверстия диаметром до 2 мм
Литье по растворимым моделям	До 0,15	Титан, жаропрочные стали	Лопатки турбин, детали приборов. Солевые модели улучшают чистоту поверхности
Литье по замораживаемым моделям	До 0,14		Тонкостенные отливки (минимальная толщина стенки 0,8 мм. диаметр отверстия до 1 мм)
Литье по газифицируемым моделям	До 15	Любые сплавы	Мелкие и средние отливки (рычаги, втулки, цилиндры, корпуса)
Многokратные формы			
Литье в формы: гипсовые	0,10	Сталь, чугун, цветные металлы и сплавы	Крупные и средние отливки в серийном производстве
песчано-цементные	70		
кирпичные	200		

Продолжение табл. 1

Способ изготовления отливок	Масса отливки, т	Материал	Особенность способа и область применения
шамотно-кварцевые	100	Сталь, чугун, цветные металлы и сплавы	Крупные и средние отливки в серийном производстве
глинистые	50		
графитовые	0,014		
каменные	0,03		
металлокерамические и керамические	0,025		
Литье в кокиль: с горизонтальной, вертикальной и комбинированной плоскостью разреза	7 (чугун), 4 (сталь), 0,5 (цветные металлы и сплавы)	Сталь, чугун, цветные металлы и сплавы	Фасонные отливки в крупносерийном и массовом производстве (поршни, корпуса, диски, коробки подачи, салазки)
Литье в облицованный кокиль	0,25	Сталь аустенитного и ферритного классов	Лопатки рабочих колес гидротурбин, коленчатые валы, буксы, крышки букс и другие крупные толстоственные отливки
Литье под давлением: на машинах с горизонтальными и вертикальными камерами прессования	0,10	Магниевые, алюминиевые, цинковые и свинцово-оловянные сплавы, сталь	Отлики сложной конфигурации (тройники, колена, кольца электродвигателей, детали приборов, блок двигателя)
с применением вакуума	0,05	Медные сплавы	Плотные отливки простой формы
Центробежное литье на машинах с осью вращения: вертикальной	0,05	Чугун, сталь, бронза и др.	Отливки типа тел вращения (венцы, шестерни, бондажи колеса, фланцы, шкивы, маховики), двухслойные заготовки (чугун—бронза, сталь—чугун) при $l : d < 1$
горизонтальной	0,60		Трубы, гильзы, втулки, оси при $l : d > 1$
наклонной (угол наклона 3—6°)	1,0		Трубы, валы, слитки
вертикальной, не совпадающей с геометрической осью отливки	0,01		Фасонные отливки, не являющиеся телами вращения (рычаги, вилки, тормозные колодки)

Продолжение табл. 1

Способ изготовления отливок	Масса отливки, т	Материал	Особенность способа и область применения
Штамповка жидких сплавов	До 0,30	Цветные сплавы	Слитки, фасонные отливки с глубокими полостями (турбинные лопатки, детали арматуры высокого давления)
с кристаллизацией под поршневым давлением	0,01	Чугун и цветные сплавы	Массивные и толстостенные отливки — без газовых раковин и пористости, можно получать уплотненные заготовки из нелитейных материалов (чистый алюминий)
Литье выжиманием	Панели до 1000 × 2500 мм с толщиной 2,5—5 мм	Магниево- и алюминиевые сплавы	Крупногабаритные отливки, в том числе ребристые
Вакуумное всасывание	0,01	Сплавы на медной основе	Небольшие отливки типа тел вращения (штулки, гильзы)
Последовательно направленная кристаллизация	0,012	Цветные сплавы	Отливки с толщиной стенки до 3 мм при протяженности до 3000 мм
Литье под низким давлением	0,030	Чугун, алюминиевые сплавы	Тонкостенные отливки с толщиной стенки 2 мм при высоте 500—600 мм (головки блока цилиндров, поршни, гильзы)
Непрерывное литье	Трубы диаметром 300—1000 мм	Сталь, чугун, цветные металлы и сплавы	Листы, заготовки круглого сечения (слитки, трубы, валы)

Среди литых деталей до 80% по массе занимают детали, изготавливаемые литьем в песчаные формы. Ручная формовка в песчаных формах, а также машинная формовка по координатным плитам с незакрепленными моделями являются оптимальными вариантами изготовления отливок любой сложности, размеров и массы из разных литейных сплавов в единичном и мелкосерийном производстве (III класс точности).

Машинная формовка с механизированным выемом деревянных моделей, закрепляемых на легкосменяемых металлических плитах, из полуформ и с заливкой в сырые и подсушенные формы является экономичным вариантом изготовления отливок в серийном производстве (II класс точности).

Машинная формовка по металлическим моделям с механизированным выемом моделей из полуформ и с заливкой в сырые и подсушенные формы является экономичным вариантом изготовления наиболее сложных по конфигурации тонкостенных деталей в массовом производстве (I класс точности). Применение при этом машинного изготовления стержней с калибровкой их перед сборкой форм в кондукторах позволяет в дальнейшем обеспечить безразметочную механическую обработку отливок в приспособлениях. Допускаемые погрешности при изготовлении стальных отливок для каждого класса точности регламентируются ГОСТ 2009—55 и чугунных отливок — ГОСТ 1855—55.

Ориентировочные данные по точности и шероховатости поверхности отливок приведены в табл. 2, по рентабельности класса точности отливок в зависимости от характера производства — в табл. 3, допускаемые отклонения на толщины необрабатываемых стенок и ребер — в табл. 4.

При массовом производстве отливок литьем получают отверстия диаметрами свыше 20 мм, при серийном — свыше 30 мм и при единичном — свыше 50 мм.

Обрабатываемые отверстия некруглого профиля выполняют литьем, если диаметры вписанных окружностей соответствуют приведенным выше нормам. Уступы шириной более 25 мм и выемки глубиной свыше 6 мм на мелких и средних отливках делают литыми. Если отношение толщин стенок находится в пределах 1 : 2, переходы оформляют в виде галтелей. При большем отношении переход оформляют клинообразным сечением стенок.

Специальные способы литья (см. табл. 1) значительно повышают стоимость отливок, но они позволяют получать отливки повышенной точности, с чистой поверхностью и минимальным объемом механической обработки. Выбор того или иного способа литья определяется необходимым выпуском отливок.

В табл. 5 приведены отклонения размеров отливок цветных металлов.

2. Точность размеров и шероховатость поверхности отливок

Способ литья	Масса заготовки, кг	Материал	Производство	Класс точности	Класс шероховатости, ГОСТ 2789-73
В песчаные формы	До 100	Алюминиевые сплавы	Массовое	5-7	1-4
			Серийное	7-8	1-3
			Единичное	8-10	1-2 *
			Массовое	7-8	1-3
			Серийное	8-10	1-2
			Единичное	10 *	1-2 *
	Св. 100 до 1000	Чугун и сталь	Массовое	5-8	1-4
			Серийное	7-10	1-3
			Единичное	8-11	1-2 *
			Массовое	7-9	1-3
			Серийное	9-11	1-2
			Единичное	11 *	1-2 *
			Серийное	9 *	1-2 *
			Единичное	11 *	1 *
Св. 1000	Чугун и сталь	Массовое	5-7	2-5	
		Серийное	7-8	1-4	
		Массовое	5-7	1-4	
		Серийное	7-8	1-3	
		Массовое	5-7	1-4	
		Серийное	7-8	1-3	
		Массовое	5-7	1-4	
		Серийное	7-8	1-3	
Штамповка жидкого сплава	До 10	Алюминиевые сплавы	Массовое	5-7	2-5
			Серийное	7-8	1-4
			Массовое	5-7	1-4
			Серийное	7-8	1-3
	Св. 10	Алюминиевые сплавы	Массовое	5-7	1-4
			Серийное	7-8	1-3
До 10	Чугун и сталь	Массовое	5-7	1-4	
		Серийное	7-8	1-3	

* Указанный класс и грубее

Продолжение табл. 2

Способ литья	Масса заготовки, кг	Материал	Производство	Класс точности	Класс шероховатости, ГОСТ 2789-73	
Под давлением	До 1	Цинковые сплавы	Массовое	3—5	5—8	
			Серийное	3—5	5—7	
	Св. 1 до 10		Массовое	4—7	5—7	
			Серийное	5—8	3—5	
	До 1	Алюминиевые сплавы	Массовое	4—7	5—7	
			Серийное	5—8	3—5	
			Св. 1 до 10	Массовое	5—7	4—5
				Серийное	5—8	3—5
	До 1	Сталь	Массовое	5—7	3—5	
			Серийное	5—7	3—5	
	С кристаллизацией под поршневым давлением	До 10	Цветные сплавы	Массовое	3—5	4—5
				Серийное	3—5	4—5
В кокиль	До 100	Алюминиевые сплавы	Массовое	4—7	2—5	
			Серийное	5—7	1—4	
			Единичное	7—9	1—3	
	Св. 100 до 1000		Массовое	5—7	1—4	
			Серийное	7—9	1—3	
			Единичное	9—11	2 *	
	До 100	Чугун и сталь	Массовое	5—7	1—3	
			Серийное	7—8	1—2	
			Единичное	8—10	1	

Продолжение табл. 2

Способ литья	Масса заготовки, кг	Материал	Производство	Класс точности	Класс шероховатости, ГОСТ 2789-73
В кокиль	Св. 100 до 1000	Чугун и сталь	Массовое	7-8	1-3
			Серийное	8-9	1-2
			Единичное	9-10	1
В оболочковые формы	До 10	Чугун и сталь	Массовое	5-7	2-5
			Серийное	7-8	1-4
	Массовое		5-8	1-4	
	Серийное		7-9	1-3	
	Св. 10 до 100	Алюминиевые сплавы	Массовое	4-7	3-6
			Серийное	5-8	2-5
По выплавляемым моделям	До 1	Сталь	Массовое	4-7	3-6
			Серийное	5-7	2-5
	Св. 1 до 10		Массовое	5-8	2-5
			Серийное	7-9	1-4

3. Рентабельность класса точности отливок в зависимости от характера производства

Класс точности (ГОСТ 1855-55 или 2009-55)	Производство	Оснастка	Способ формовки	Число отливок в год
I	Крупносерийное, массовое	Металлические модели и стержневые ящики	Машинный	10 000 и более
II	Серийное, крупносерийное	Деревянные или металлические модели и стержневые ящики	Машинный, ручной	От 1 000 до 10 000
III	Единичное, серийное	Деревянные модели и стержневые ящики	Ручной	От 1 до 1 000

Примечания: 1. При использовании координатных модельных плит, деревянных вкладышей и аналогичной дешевой и быстросменной оснастки партия в 10 мелких и средних отливок считается достаточной для перевода на машинную формовку.

2. Пескометный способ формовки целесообразен при любом характере производства средних и крупных отливок

4. Допускаемые отклонения (\pm) на толщину необрабатываемых стенок и ребер, ГОСТ 1855—55 и 2009—55 (литье в песчаные формы)
Размеры в мм

Наибольший габаритный размер заготовки	Толщина необрабатываемой стенки или ребра	Класс точности			Наибольший габаритный размер заготовки	Толщина необрабатываемой стенки или ребра	Класс точности			
		I	II	III			I	II	III	
До 500	До 6	0,2	0,4	0,8	1250—2500	Св. 18 до 30	1,0	2,0	2,5	
		0,3	0,8	1,0			1,5	2,0	2,5	
	Св. 6 до 10	0,3	0,5	1,0			Св. 30 до 50	1,2	2,5	3,0
		0,5	0,8	1,0				1,5	2,5	3,0
	Св. 10 до 18	0,5	0,8	1,5		Св. 50 до 80	1,8	2,5	3,0	
		0,8	1,0	1,5			2,0	3,0	3,5	
	Св. 18 до 30	0,8	1,0	1,5		Св. 80 до 120	2,0	3,0	3,5	
1,0		1,0	1,5	2,5	3,5		4,0			
Св. 500 до 1250	До 10	0,3	0,8	1,2	2500—4000	До 18	1,0	1,5	2,0	
		0,8	1,0	1,5			1,5	2,0	2,5	
	Св. 10 до 18	0,5	1,2	1,5		Св. 18 до 30	1,2	2,0	2,5	
		1,0	1,5	2,0			1,5	2,5	3,0	
	Св. 18 до 30	0,8	1,5	2,0		Св. 30 до 50	1,5	2,5	3,0	
		1,0	1,5	2,0			2,0	3,0	3,5	
	Св. 30 до 50	1,0	1,8	2,0		Св. 50 до 80	2,0	3,0	3,5	
1,2		2,0	2,5	2,0	3,5		4,0			
Св. 50 до 80	1,2	2,0	2,5	Св. 80 до 120	2,5	3,5	4,0			
	1,5	2,5	3,0		2,5	4,0	4,5			
1250—2500	До 10	0,5	1,2	1,5	Св. 4000	До 18	—	2,0	3,0	
		1,0	1,5	1,5			—	2,0	2,5	
	Св. 10 до 18	0,8	1,5	2,0		Св. 18 до 30	—	2,5	3,5	
		1,0	2,0	2,5			—	2,5	3,0	
	Св. 18 до 30	1,2	2,0	2,5		Св. 30 до 50	—	3,0	4,0	
		1,5	2,5	3,0			—	3,5	4,0	
	Св. 30 до 50	1,5	2,5	3,0		Св. 50 до 80	—	3,5	4,5	
2,0		3,0	3,5	—	4,0		5,0			
Св. 50 до 80	2,0	3,0	3,5	Св. 80 до 120	—	4,0	5,0			
	2,5	3,5	4,0		—	4,5	6,0			

Примечания: 1. В числителе приведены данные для чугунных отливок, в знаменателе — для стальных.
2. Местные увеличения или уменьшения толщины необрабатываемых стенок или ребер оговариваются в технических условиях.

5. Допускаемые отклонения на размеры отливок из цветных металлов и сплавов, мм

Номинальный размер заготовки, мм	Литье									
	в песчаные формы		в оболочковые формы		по выплавляемым моделям		центробежное		под давлением	
	повышен-ная	нормаль-ная	повышен-ная	нормаль-ная	повышен-ная	нормаль-ная	повышен-ная	нормаль-ная	повышен-ная	нормаль-ная
До 10	0,4	0,8	0,2	0,4	0,12	0,2	0,2	0,4	0,1	0,12
	0,6	1,6	0,3	0,6	0,24	0,3	0,3	0,6	0,2	0,24
Св. 10 до 18	0,4	0,8	0,24	0,4	0,16	0,24	0,24	0,4	0,12	0,16
	0,6	1,6	0,4	0,6	0,24	0,4	0,4	0,6	0,24	0,24
Св. 18 до 30	0,5	0,8	0,3	0,5	0,2	0,3	0,3	0,5	0,14	0,2
	0,8	1,6	0,5	0,8	0,3	0,5	0,5	0,8	0,28	0,3
Св. 30 до 50	0,6	1,0	0,4	0,6	0,24	0,4	0,4	0,6	0,17	0,24
	1,0	1,6	0,6	1,0	0,4	0,6	0,6	1,0	0,34	0,4
Св. 50 до 80	0,8	1,2	0,5	0,8	0,5	0,8	0,8	0,8	0,3	0,5
	1,2	2,0	0,8	1,2	0,8	1,2	0,8	1,2	0,5	0,8
Св. 80 до 120	1,0	1,6	0,6	1,0	0,6	1,0	1,0	1,6	0,4	0,6
	1,6	2,5	1,0	1,6	1,0	1,6	1,6	2,5	0,6	1,0
Св. 120 до 180	1,2	2,0	1,2	2,0	0,8	1,2	1,2	2,0	0,5	0,8
	2,0	3,0	2,0	3,0	1,2	2,0	2,0	3,0	0,8	1,2
Св. 180 до 260	1,6	2,4	1,6	2,4	1,0	1,6	1,6	2,4	0,6	1,0
	2,4	4,0	2,4	4,0	1,6	2,4	2,4	4,0	1,0	1,6

Продолжение табл. 5

Номинальный размер заготовки, мм	Литье									
	в песчаные формы		в оболочковые формы		по выплавляемым моделям		центробежное		под давлением	
	повышен- ная	нормаль- ная	повышен- ная	нормаль- ная	повышен- ная	нормаль- ная	повышен- ная	нормаль- ная	повышен- ная	нормаль- ная
Св. 260 до 360	$\frac{1,8}{3,0}$	$\frac{3,0}{4,5}$	$\frac{1,8}{3,0}$	$\frac{3,0}{4,5}$	$\frac{1,2}{1,8}$ *	$\frac{1,8}{3,0}$	$\frac{1,8}{3,0}$	$\frac{3,0}{4,5}$	$\frac{0,8}{1,2}$	$\frac{1,2}{1,8}$
	$\frac{2,2}{3,6}$	$\frac{3,6}{5,5}$	$\frac{2,2}{3,6}$	$\frac{3,6}{5,5}$	$\frac{1,4}{2,2}$	$\frac{2,2}{3,6}$	$\frac{2,2}{3,6}$	$\frac{3,6}{5,5}$	—	$\frac{1,4}{2,2}$
Св. 500 до 630	$\frac{4,0}{6,4}$	$\frac{6,4}{10,0}$	$\frac{2,4}{4,0}$	$\frac{4,0}{6,4}$	$\frac{1,6}{2,4}$	$\frac{2,4}{4,0}$	$\frac{2,4}{4,0}$	$\frac{4,0}{6,4}$	—	$\frac{1,6}{2,4}$
	$\frac{5,0}{8,0}$	$\frac{8,0}{12,0}$	$\frac{3,0}{5,0}$	$\frac{5,0}{8,0}$	—	$\frac{3,0}{5,0}$	$\frac{3,0}{5,0}$	$\frac{5,0}{8,0}$	—	—
Св. 800 до 1000	$\frac{5,6}{9,0}$	$\frac{9,0}{14,0}$	$\frac{3,6}{5,6}$	$\frac{5,6}{9,0}$	—	$\frac{3,6}{5,6}$	$\frac{3,6}{5,6}$	$\frac{5,6}{9,0}$	—	—
	$\frac{6,4}{10,0}$	$\frac{10,0}{16,0}$	$\frac{4,0}{6,4}$	$\frac{6,4}{10,0}$	—	$\frac{4,0}{6,4}$	$\frac{4,0}{6,4}$	$\frac{6,4}{10,0}$	—	—
Св. 1250 до 1600	$\frac{8,0}{12,0}$	$\frac{12,0}{20,0}$	$\frac{5,0}{8,0}$	$\frac{8,0}{12,0}$	—	$\frac{5,0}{8,0}$	$\frac{5,0}{8,0}$	$\frac{8,0}{12,0}$	—	—
	$\frac{9,0}{14,0}$	$\frac{14,0}{22,0}$	—	$\frac{9,0}{14,0}$	—	—	—	$\frac{9,0}{14,0}$	—	—

Примечание. В числителе приведены допуски на размеры отливки, получаемые в одной части формы; в знаменателе — на размеры, получаемые в двух и более частях формы или в стержнях.

СВАРНО-ЛИТЫЕ ЗАГОТОВКИ

Сварно-литые заготовки целесообразны в мелкосерийном производстве при следующих условиях:

а) если изготовление цельнолитой заготовки связано с большим литейным браком из-за нетехнологичности конструкции;

б) в случае, когда отдельные части заготовки требуют сложной и точной механической обработки;

в) когда отдельные части заготовки работают в особо сложных условиях (повышенный износ, коррозия и т. п.) и для их изготовления требуются более дорогие сплавы;

г) если заготовка представляет собой разветвленную конструкцию со значительным количеством больших выступающих частей и изготовление ее требует крупногабаритных форм и больших затрат формовочных материалов и рабочего времени в литейном цехе;

д) иногда из удобства транспортирования заготовки делят на несколько частей (при больших массе и габаритах).

Сварные элементы в зависимости от конструкции изделия, толщины сварного соединения и состава металла соединяют ручной дуговой, полуавтоматической и автоматической сваркой в среде газа или под флюсом, электрошлаковой сваркой. При производстве применяют стыковые, угловые, нахлесточные и тавровые сварные соединения. Длина отдельных заготовок для сварных конструкций во избежание заметного коробления не должна превышать 4—5 м.

ЗАГОТОВКИ ИЗ СОРТОВОГО И СПЕЦИАЛЬНОГО ПРОКАТА

Во многих случаях, когда требуются высокие прочность и плотность, применяют заготовки из сортового и специального проката. В процессе проката раскаленные литые болванки подвергаются многократному уплотнению между вальками прокатных станов. Это придает заготовкам из проката высокую прочность и герметичность даже при небольшой их толщине.

Виды сортового и специального профильного проката и его назначение приведены в табл. 6. В табл. 7 даны методы бесштампового изготовления деталей из сортового листового и трубного проката. Существующие станы позволяют получать горячей прокаткой зубчатые колеса диаметром до 600 мм с модулем до 10 мм. Точность зубчатого профиля соответствует 8-й степени по ГОСТ 1643—70, а шероховатость поверхности лежит в пределах 6—7-го классов по ГОСТ 2789—73. Холодная прокатка мелкомодульных шестерен (до 1 мм) из цветных металлов обеспечивает 7-ую степень точности и 7—10-й класс шероховатости поверхности. Прокатанные колеса по сравнению с фрезерованными имеют повышенный (до 20%) предел выносливости и износостойкость. При этом методе экономится до 20% металла и снижается себестоимость изготовления зубчатого колеса на 20—25%. Методы резки и правки проката даны в табл. 8—9.

6. Виды проката сортового и специального профиля и его назначение

Вид исходной заготовки	Назначение
Сортовой прокат (постоянное поперечное сечение): круглый	Гладкие и ступенчатые валы с небольшим перепадом диаметров ступеней, стаканы диаметром до 50 мм и втулки с наружным диаметром до 25 мм
квадратный, шести- гранный и прямо- угольный	Крепежные детали, небольшие детали типа рычагов, тяг и планок
листовой	Цилиндрические полые заготовки, фланцы, кольца, плоские детали различной формы
трубный	Цилиндры втулки, гильзы, стаканы, барабаны, ролики, фланцы и т. п.
Профильный сортовой прокат (постоянное поперечное сечение): двутавр, швеллер, уголки и т. п.	Балки, кронштейны, полки, для изготовления сварных металлических конструкций (рамы, станины)
Фасонный прокат (постоянное или незначительно изменяющееся поперечное сечение)	Детали в крупносерийном и массовом производстве
Периодический прокат (поперечное сечение не постоянно): продольный поперечно-винтовой	Заготовки под штамповку; позволяет до 15% снизить расход металла по сравнению с обычным прокатом, повысить производительность труда на 25—30% за счет ликвидации протяжки, уменьшить себестоимость на 10—20%, увеличить стойкость штампов
поперечный	Шары для подшипников качения углеразомельных и цементных мельниц, полые профилированные трубчатые заготовки. Применяют установки, совмещающие процесс непрерывного литья с поперечной прокаткой
Прессованные профили (постоянного поперечного сечения) на гидравлических горизонтальных прессах	Профили с разнообразной формой поперечного сечения диаметром до 400 мм, трубы с внешним диаметром 20—400 мм при толщине стенки 1 мм и выше и другие сплошные и полые профили из цветных металлов и сплавов, отчасти из стали. Прессование производят в горячем состоянии, только легкоплавкие металлы, как свинец и олово, прессуют в холодном состоянии
Гнутые профили на ролико-гибочных станках	Ветровые рамы стекол, опоры, кронштейны, консоли, обрамления, окантовка, радиаторные трубки. Широко применяют профили из стальной ленты шириной 10—150 мм и толщиной 0,1—2 мм
Профили из расплава по способу А. В. Степанова (постоянное поперечное сечение)	Разнообразные детали (листы, трубы, панели, прутки разного профиля) из металлов и сплавов

7. Методы бесштампового изготовления деталей из сортового листового и трубного проката

Метод изготовления и оборудование	Область применения
Периодическая продольная прокатка на одно- и двухопорных вальцах	Заготовки гаечных ключей, плоскогубцев, барашков, скоб, лопаток турбин, шатунов, вилок, рычагов и тонких деталей (ножи, вилки)
Поперечная прокатка зубьев на станках	Заготовки прямого, косоугольного и шевронного зуба, зуба с кольцевыми ребрами, зуба в форме трехгранных призм, наружных шлиц на валиках
Программная ковка на вертикальных радиально-ковочных машинах	Ступенчатые заготовки и детали типа валов круглого сплошного сечения диаметром до 100 мм и полых до 125 мм. За один цикл исходный прокат можно деформировать на 6—7 диаметров на длине 1000—1250 мм при уменьшении диаметра заготовки на одно обжатие на 12—15 мм
Радиальное обжатие на обжимных машинах	Детали (валики, тяги и т. п.) из углеродистых и легированных сталей с относительным удлинением 8%, а также из сплавов меди, алюминиевых и др. При регулировании в холодную используют прокат диаметром до 15—20 мм, в горячую до 90—100 мм; диаметр труб до 160 мм. Точность размеров деталей при обжатии в холодную достигает 2-го класса и в горячую — 4—5-го классов
Холодное профильное волочение на станках	Проволока диаметром 0,002—30 мм, детали сплошных профилей сечением 100—120 мм (храповые колеса, шпонки и т. п.), трубы разных форм и сечений до диаметра 200—350 мм, правка пруткового материала. Отклонения размеров выдерживаются в пределах 3—4-го классов
Протягивание проката через свободно вращающиеся профильные ролики на станках	Различные мелкие однотипные детали, в том числе профильные детали приборов. Усилия, требующиеся при протягивании, значительно меньше, чем при волочении
Профилирование рулонного материала на профилегибочных станках	Разнообразные декоративные и конструкционные элементы из коррозионностойкой стали и цветных металлов
Выдавливание роликом на специальных установках или станках токарной группы	Корпуса снарядов, ракет, секций фюзеляжей самолетов и др. деталей из алюминия, меди, титана и коррозионностойкой стали в холодном или горячем состоянии
Гибка-прокатка на гибочных валковых станках	Детали одинарной кривизны, имеющие цилиндрическую или коническую форму, монолитные панели в котло-, судо- и самолетостроении
Обтяжка по обтяжному пансону	Крупногабаритные обшивки двойной кривизны из листового проката толщиной до 5 мм
Дробеструйная и дробеметная гибка на специальных установках	Панели обшивки самолета из алюминиевых сплавов

Продолжение табл. 7

Метод изготовления и оборудование	Область применения
Раскатка	Кольца с наружными и внутренними канавками, повышение точности сложного профиля, полученного гибкой с последующей стыковой контактной сваркой фасонного прокатного профиля

8. Методы резки проката

Метод резки и оборудование	Точность резки, мм	Область применения
Газовая резка ацетилено-кислородная	Ручная резка от ± 2 до ± 5 , машинная от $\pm 0,5$ до $\pm 1,0$	Резка углеродистых и низкоуглеродистых сталей; вырезка заготовок различной конфигурации из листового проката толщиной до 200 мм
кислородная		Резка углеродистых и низколегированных конструкционных сталей, для раскроя листов и профильного проката; для вырезки из листового проката заготовок сложной конфигурации; для разделительной резки листов толщиной до 100 мм с одновременной подготовкой V или X-образных кромок; для обрезки труб с наружным диаметром 150—300 мм и толщиной стенок до 16 мм
кислородно-флюсовая		Резка заготовок из коррозионностойких сталей (толщиной до 450 мм), чугуна, цветных металлов и их сплавов
плазменно-дуговая		Резка низкоуглеродистых, легированных сталей и цветных металлов толщиной до 100 мм. Хорошо режутся бетон, гранит, карборунд
Резка на ножницах: пресс-ножницы с продольными или поперечными ножами	От $\pm 0,5$ до $\pm 3,0$	Резка листового и полосового проката толщиной до 25 мм и шириной до 3000 мм
гильотинных	От $\pm 0,12$ до $\pm 1,5$	Резка листового и полосового проката толщиной до 40 мм и шириной до 2500—3000 мм
дисковых с параллельными осями	7 класс *	Прямолинейная резка листового проката толщиной до 30—40 мм

Продолжение табл. 8

Метод резки и оборудование	Точность резки, мм	Область применения
дисковых с наклонными осями	8—9 класс *	Вырезка из листового проката толщиной 6—8 мм заготовок с кривыми контурами или кривыми и прямыми. Наименьший радиус кривизны 0,4—0,7 диаметра дискового ножа
многодисковых с параллельными осями	7 класс *	Одновременная резка широкой ленты на узкую и листов на полосы. Толщина разрезаемого проката 0,5—3 мм
вибрационных	7—9 класс *	Вырезка из листового проката заготовок с малым радиусом кривизны (12 мм) и вырезка отверстий без предварительного сверления (при условии, что толщина не превышает 3 мм)
уголковых	9 класс *	Резка углового проката на ножницах малых моделей до № 10 и больших до № 20
профильных		Резка балок и швеллеров до № 60
ручных рычажных	± 1	Вырезка из листового проката толщиной не более 2 мм заготовок с прямолинейными контурами шириной до 450 мм по упору и более 450 мм — по разметке
Пресса	2—4	Резка проката диаметром 10—80 мм
Резка на пилах: дисковых, зубчатых, фрикционных и электрофрикционных	0,4—3,0	Резка круглого проката больших сечений (до 500 мм)
ленточных	1,5—5,0	Резка проката рабочего профиля из черных и цветных металлов диаметром до 250 мм. Ширина реза 0,8—1,3 мм. Скорость резания 0,23—14 м/с
Приводные ножовки	2,0—4,5	Резка круглого и профильного проката диаметром до 250—300 мм, ширина реза 1—3,5 мм
Резка на станках: токарных	0,3—0,8	Резка прутков круглого сечения и труб диаметром до 80 мм

Продолжение табл. 8

Метод резки и оборудование	Точность резки мм	Область применения
фрезерно-отрезных	2,5—4,5	Резка круглого и профильного проката на универсальных станках диаметром до 500 мм и специальных — до 800 мм. Скорость резания на универсальных станках до 65 м/мин и специальных — до 3000 м/мин
горизонтально-фрезерных	0,4—0,7	Резка круглого проката диаметром 50—60 мм на заготовки небольшой длины
абразивно-отрезных	0,3—0,7	Резка стальных прутков с высокой твердостью проката из инструментальных сталей и твердых сплавов. Применяют абразивные круги диаметром 30—500 мм и толщиной 0,5—4 мм; алмазные круги диаметром 50—320 мм и толщиной 0,15—2 мм. Скорость резания 50—80 м/с
анодно-механических	3—4 класс *	Резка проката с высокой твердостью диаметром 200—250 мм. При применении вместо дисков стальной ленты толщиной 1—2 мм и шириной 12—20 мм или стальной проволоки диаметром 2—2,5 мм можно выполнять фигурную резку
электроискровых	Черновая 0,5—2; чистовая 0,03—0,2	Резка круглого проката и труб из стальных и твердосплавных материалов непрерывно движущимся электродом-проволокой диаметром 0,05—0,3 мм
ультразвуковых	0,1—0,5	Резка твердых и хрупких материалов (керамика, кварц, кремний, стекло, германий, ферриты, алмаз, рубин и т. п.)
электронно-лучевых	0,01—0,05	Резка небольших заготовок из металлов, полупроводниковых и изоляционных материалов
лазерных	0,05—0,001	Резка небольших заготовок из любых материалов

* Допускаемые отклонения в зависимости от длины резки даны в табл. 6

9. Методы правки проката

Метод правки	Точность правки в мм на 1 м длины	Область применения
Вальцы листопрямильные	1—2	Листовой прокат от 3000×10 до 3000×40 мм
углопрямильные	1	Угловой прокат до № 20
Прессы горизонтально- гибочные	1	Балки и швеллеры до № 60
вертикальногибоч- ные	1	Балки и швеллеры до № 45
правильные: ручные	Местная кривизна прутка до 0,15	Прутки и заготовки диаметром до 25—30 мм
пневматические	До 0,15	Прутки и заготовки диаметром 30—50 мм
кривошипные, фрикционные и шестеренчато- реечные	Для обработанных до 0,05	Прутки и заготовки диаметром 60—100 мм
гидравлические		Прутки и заготовки диаметром 150 мм и выше
Машины правильно-растяж- ные	—	Очень тонкие листы (толщиной 0,3—0,6 мм) и тонкая мягкая проволока
роликовые пра- вильные	0,5—0,9	Прутки и заготовки диаметром до 200 мм. Скорость правки 2— 0,8 м/с
косовалковые	0,5—0,8	Прутки и заготовки диаметром до 160 мм

Продолжение табл. 9

Метод правки	Точность правки в мм на 1 м длины	Область применения
Станки правильно-отрез- ные	0,5—0,7	Правка и отрезка проката круглого, шестигранного и квадратного диаметром 0,25—16 мм, поставляемого в мотках и бухтах. Скорость правки 0,17—1 м/с. Длина отрезка от 0,16 до 9 м
правильно-калиб- ровочные	Черного прутка 0,5—0,9; предваритель- но обточенного от 0,1— 0,2 до 0,05	Правка и калибровка проката диаметром 5—100 мм. Скорость правки 0,23—1,3 м/с. Длина обрабатываемых прутков 2—7 м. Точность калибровки по диаметру 0,03—0,05 мм (для получения чистой поверхности применяют полирование головками)
резьбо-накатные (прокатка между гладкими плаш- ками)	0,05—0,1	Короткие цилиндрические заготовки из проката и детали
Ручная правка плиты (посредством ударов кувалды или молотка)	2—3	Исправление формы проката и заготовок небольшого диаметра в мелкосерийном и единичном производстве
зажимные приспособления (с помощью рычага или домкрата)	0,1—0,25	Планки, рычаги и другие жесткие детали
струбциной в центрах	0,05—0,15	Валы и винты
огневая (ацетилено- кислородная)	Плоских элементов до 0,5; биение валов 0,4—0,6	Устранение кривизны и неровностей листов, полос с изгибом на ребро, сварных конструкций, а также сортового проката больших сечений
<p>Примечание. Фасонноотрезные автоматы, автоматы для навивки пружин и т. п. имеют правильные узлы в виде роликовых механизмов, обеспечивающих правку материала по принципу многократного изгиба до 0,5 мм на 1 м длины</p>		

ПОКОВКИ

Следует отметить, что не все прокатные металлы имеют во всех направлениях одинаковые плотность и прочность. Это объясняется наличием шлаковых включений, располагающихся нитями вдоль направления прокатки и снижающих механические характеристики. Особенно это часто наблюдается в листовой и сортовой низкоуглеродистой стали многих профилей и размеров. Кроме этого прокат имеет небольшие размеры. Поэтому во многих случаях оказывается выгодным делать детали из поковок.

Выбор того или иного вида заготовки диктуется размерами детали и серийностью. Так заготовки крупногабаритных деталей в единичном производстве получают свободной ковкой, а заготовки мелких деталей в серийном и массовом производствах — штамповкой.

Механические свойства материала заготовки, полученной обработкой давлением, приведены в табл. 10; характеристики поковок, изготавливаемых ковкой и штамповкой, — в табл. 11 и 12; характеристики холодной объемной и листовой штамповки — в табл. 13 и 14; характеристика специальных методов обработки — в табл. 15. Величины штамповочных уклонов на поковках даны в табл. 16. Точность поковок общего назначения из углеродистой и легированной стали, изготавливаемых свободной ковкой на прессах, регламентируется ГОСТ 7062—67 (см. табл. 33—38, гл. III), и свободной ковкой на молотах — ГОСТ 7829—70 (см. табл. 39—46, гл. III). Допуски в этих ГОСТах даны для условий единичного и мелкосерийного производства и не распространяются на поковки из высоколегированной стали и сплавов с особыми физическими свойствами. Точность штампованных заготовок регламентируется ГОСТ 7505—74 (см. табл. 47, 48 гл. III).

10. Механические свойства материала заготовки, полученной обработкой давлением, по сравнению со свойствами катанных заготовок

Метод изготовления	Механические свойства материала заготовки	Рентабельная партия, число деталей
Ковка на плоских бойках	Отклонение прочности $\pm 10\%$; пластичность ниже в пределах 5%	50—200
Горячая штамповка: в подкладных штампах		50—200
на штамповочном молоте		75—500
на механическом прессе	Прочность ниже в пределах 10%; пластичность одинаковая	75—500
на горизонтально-ковочной машине	Отклонение прочности на $\pm 10\%$; пластичность ниже в пределах 5%	150—300
с плоскостной калибровкой, холодной или горячей		300—600

Примечание. Изменение механических свойств поперек волокон по сравнению с теми же свойствами вдоль волокон; предел прочности уменьшается на 10%; удлинение, сужение и ударная вязкость уменьшаются на 33%; сопротивление усталости увеличивается на 15—20%.

11. Характеристика и технология изготовления поковок методомковки

Детали	Примеры выполненных поковок	Технология изготовления поковок	Примечание
Детали круглого ($L > 1,2D$) и прямоугольного ($L > > 1,2B$ или $h > > 0,1B$) сечений; гладкие	Колонны, валы, штоки, тяги, штанги, брусы, пластины	Вытяжка	—
Детали круглого ($D > d$ и $L > 1,2 [d + D]$) и прямоугольного сечений с уступами, буртами и утолщениями	Валы, шпиндели, крупные шатуны	Вытяжка, надрезка, обжим и пережим	Для отливок из жаропрочных сплавов применяют прессование
Валы круглого ($D > d$) сечения с шейками	Прокатные и шестеренчатые валки, ротора генераторов и турбин	Обжим и осадка	Для поковок диаметром более 800 мм применяют межоперационный отжиг
Диски плоские со ступицами и ободами	Турбинные диски, крупные гайки	Вытяжка, осадка, разгонка поля, обкатка	При соответствующей программе прогрессивным методом является штамповка с последующей раскаткой на универсальных приспособлениях или на колесопркатном стане. Когда усилия прёсса недостаточно, рациональной является секционная штамповка. Ковка дисков или покрывшек в подкладных штампах дает экономию металла на 35—50%
Цилиндры полые, с дном, буртами	Цилиндры, барабаны, соединительные муфты, трубы	Осадка, прошивка, раскатка на оправке	Оправки для крупных поковок выполняют с внутренним водяным охлаждением. Ковка из олового слитка исключает осадку и прошивку, что позволяет использовать прессы в 2 раза меньшей мощности

Продолжение табл. 11

Детали	Примеры выполненных поковок	Технология изготовления поковок	Примечание
Кольца узкие, широкие, с уступами	Кольца, бандажи	Прошивка, раскатка на оправке	<p>Ковка колец диаметром до 1000—1500 мм без последующей раскатки на машинах допустима в отдельных случаях. Раскатку кольцевых поковок можно выполнить открытым или полукрытым способами. Первый способ более прост при наладке и обслуживании, универсален, позволяет получать заготовки с наружной и внутренней профилированной поверхностями; второй способ дополнительно позволяет получить более высокую точность по высоте.</p> <p>Раскатка на машинах применима в мелкосерийном производстве; наиболее эффективна она при раскатке партии из 1000 колец и более.</p>
Кубики ($a = b = h$ или $b > a$)	Штамповые кубики, бабы мелких и средних молотов, бойки, корпуса водораспределителей и клапанных коробок гидроприводов	Осадка, двусторонняя ковка	Ковка крупных кубиков с применением поворотных плит
Кривошипы	Кривошипные и коленчатые валы	Вытяжка с набором, высадка колен, скручивание	Крупные коленчатые валы целесообразно выполнять горячей секционной штамповкой, требующей усиления преса в 5—6 раз меньше, чем обычная штамповка
<p>Примечания: 1. L — длина поковки; B и b — ширина поковки; h — высота поковки; D и d — наибольший и наименьший диаметр поковки.</p> <p>2. Исходная заготовка — слиток рациональной формы (с укороченной избыточной частью) или крупногабаритный сортовой прокат.</p> <p>3. Применяемое оборудование — ковочные молоты (паровоздушные, пневматические, пружинно-рессорные) и гидравлические ковочные прессы.</p>			

12. Поковки, изготавливаемые горячей штамповкой, технология и применяемое оборудование

Детали	Примеры выполненных поковок	Исходная заготовка	Технология и применяемое оборудование	Примечание
Диски плоские круглые, невысокие кольца с небольшими буртами или выемками	Промежуточные втулки, кольца, кольца подшинников	Пруток	Штамповка на горизонтально-ковочной машине с последующей горячей раскаткой	Возможно изготовление колец горячей раскаткой из заготовок, полученных центробежным литьем
Втулка с фланцами или буртами	Фланцы, крышки, втулки с буртами		Штамповка в закрытых штампах на молотах, механических кованых или фрикционных прессах	Можно также получать на прессах методом безоблойной штамповки или на горизонтально-ковочных машинах, если заготовка имеет сквозное отверстие (труба)
Барабаны и фланцы	Крышки, втулки, переходники, муфты, барабаны, фланцы	Мерная заготовка из проката	Штамповка на молотах и механических прессах	Значительная экономия металла при изготовлении некоторых деталей за счет применения совмещенной штамповки и использования внутренних отходов (выдры)
Корпуса подшипников и упорные крышки	Полые крышки, упорные подпятники, корпуса подшипников		Штамповка на молотах и механических прессах в 1, 2 и 3-х ручьевых штампах в зависимости от сложности конфигурации детали	Для деталей средней и сложной конфигурации и крупносерийном производстве целесообразно расчленение процесса штамповки
Детали цилиндрические с утолщением на конце или в средней части	Валики, клапаны, ручки, толкатели, лопатки, турбинные и компрессорные		Штамповка по методу выдавливания на ГКМ, гидравлических прессах или механических	Детали типа валов с головкой на одном конце получают также обычной объемной штамповкой. При изготовле-

Продолжение табл. 12

Детали	Примеры выполненных поковок	Исходная заготовка	Технология и применяемое оборудование	Примечание
	Червяк рулевого управления		ских с встроенным нагревом заготовок или высадка на электровысадочной установке	ни лопаток эффективно применение вибрационной штамповки. Процесс штамповки методом истечения имеет следующие преимущества: высокая производительность и коэффициент использования металла; возможность применять любую заготовку из проката любой точности; высокая точность поковок и малые припуски на обработку; легко автоматизируется процесс штамповки
Детали, имеющие плоскую неровную форму, выступы, утолщения, проушины	Петли дверок и откидных частей приспособлений, направляющие кулачки	Мерная заготовка из проката	Штамповка на молотах и механических прессах	—
Детали фасонные, сложной конфигурации, имеющие выступы или утолщения	Поперотные кулаки, корпус, клапан, ведущая шестерня		Наиболее часто путем комбинирования метода выдавливания и открытой штамповки. Детали с выступами небольшой длины штампуют в открытых штампах в одном или нескольких ручьях на молотах и кривошипных прессах	Методом выдавливания можно штамповать без образования торцового заусенца между пуансоном и матрицей, если коэффициент вытяжки не превышает 7,5—8. При получении заготовок ее форму следует рассчитывать так, чтобы последующая штамповка происходила в одном обломном ручье без промежуточного подогрева
Детали удлиненной формы	Шатуны, турбинные лопатки, крошшеины, упоры	Набор материала заготовки, производится на специализированных трехвалковых коловочных вальцах	Штамповка в обломных штампах из заготовок с большим местным набором металла на молотах и механических прессах в 1-м ручье	Подготовка заготовки иногда делает высадкой на горизонтально-ковочной машине. Коэффициент использования металла можно повысить до 0,75—0,80, применяя в качестве исходной заготовки периферический прокат

Продолжение табл. 12

Детали	Примеры выполненных поковок	Исходная заготовка	Технология и применяемое оборудование	Примечание
Детали фасонные с искривленной осью или с отгостками	Рычаги, кулаки		Штамповка в открытых штампах из вальцованных высадочных и гнутых заготовок на желобах и механических прессах небольшой мощности	Обычно штампуют одновременно несколько мелких деталей
Детали со значительной изогнутостью и разветвленными с утолщением на концах	Переводные рычаги, вилки, скобы, вывальные наконечники тяг	Мерная заготовка из проката	Вальцовка, гибка, объемная штамповка, электровысадка	Некоторые детали изготавливают штамповкой: 1) одновременно несколько штук; 2) с образованием проушины методом истечения; 3) при сближенных разветвлениях или концах с разведением их после обрезки в требуемое положение; 4) из предварительно изогнутых заготовок, набор материала на которых выполнен высадкой на горизонтально-ковочных машинах или вальцовкой
Детали удлиненные переменного сечения с уступами и выступами	Полуоси и оси автомобилей, валики, вентерена, звенья цепей транспортеров		Вальцовка, радиальная ковка, электровысадка или комбинация вальцовки с радиальной ковкой	Радиально-ковочные машины имеют программное управление, не требуют смены инструмента при переходе с ковки валов одного диаметра на другой, компактны. В крупносерийном и массовом производстве целесообразен поперечно-винтовой прокат

Продолжение табл. 12

Детали	Примеры выполненных поковок	Исходная заготовка	Технология и применяемое оборудование	Примечание
Фасонные детали с коленами и буртами	Кривошипны, колена, чатые валы, распределительные валыки, ступенчатые шестеренные валыки	Квадратный прокат с последующим набором материала на конических вальцах конического типа или прокатанная заготовка	Объемная штамповка вальцованных заготовок на кривошипных-чеканых прессах. Высадка фланца на горизонтально-ковочных машинах, скручивание колен на специальной машине	Повышение температуры окончания штамповки деталей из углеродистой стали позволяет повысить производительность труда на 10—15%, сократить машинное время на 25—30%, повысить стойкость штампов и облегчить запоровение ручья
Детали формы тел вращения с ребрами	Диски и нагнетателей компрессоров, насосов, крыльчатки	Мерная заготовка из слитка непрерывной отливки	Объемная штамповка преимущественно из легких сплавов на гидравлических прессах	—
Детали больших размеров сложной формы, переменного сечения с ребрами, проушинами	Подмоторные рамы, панели, лонжероны, шасси, рамы, кронштейны	Мерная заготовка из слитка без или с предварительным прессованием слитка	Объемная штамповка из легких сплавов на мощных прессах	Прогрессивным направлением штамповки деталей крупных габаритных размеров следует считать секционный способ штамповки на оборудовании обычной мощности. Мощные кончно-штамповочные прессы используют только для высокопроизводительной штамповки в чистовом ручье. Целесообразно комбинирование прокатки в профилирующих вальцах с последующей секционной штамповкой фасонных концов панелей

13. Объемная холодная штамповка

Операция	Класс точности	Класс шероховатости, ГОСТ 2789-73	Особенности и область применения
Осадка	$\pm(0,3+0,5)$, мм	5—6	Получение объемных деталей уменьшением высоты заготовки за счет перераспределения объема металла; для выравнивания торца применяют калибровку
Объемная штамповка: открытая	5—7 (зависит от допусков по толщине заготовки)	6—7	Преобразование формы заготовки за счет деформации всего объема или части путем заполнения фигурной полости штампа
закрытая		7—9	Формовка производится из штучных заготовок или полосового материала
Штамповка выдавливанием: прямым	2—4	До 9	Специальные и тонкостенные полые детали из мягкой стали и цветных металлов и сплавов
обратным			Большие по высоте заготовки (гильзы, трубы), небольшого диаметра
комбинированным			Детали сложной формы
Рельефная чеканка	—	—	Образование на поверхности детали выпуклого рельефа (медалей, жетонов, знаков различия и т. п.)
Керновка	—	—	Нанесение углублений на поверхности заготовки или детали для последующего сверления отверстий
Клеймение	—	—	Нанесение вдавливанием на поверхности детали надписей, цифр и т. п.
<p>Примечания: 1. Материал — углеродистые и легированные стали, цветные металлы и сплавы. 2. Оборудование — чеканочные прессы с усилием 70—8000 тс и более, с числом ходов 20—70 в 1 мин.</p>			

14. Листовая штамповка

Листовая штамповка	Особенности и область применения	Примечание
Холодная	Изготовление из листа деталей часов, велосипедов и мотоциклов, крупных облицовочных деталей автомобилей, тракторов, вагонов (кожухи, картеры, крышки, колпаки, щитки, диски, кольца и т. п.)	Для штамповки применяют стальные ленты, тонколистовую сталь, жель, листы и полосы из латуни, меди, никелевые сплавы и т. п., пластмассы
Горячая	Изготовление крупных деталей из листа толщиной свыше 10 мм в горячем состоянии (днища паровых котлов, резервуары); в отдельных случаях для деталей из специальной листовой стали толщиной 3—5 мм во избежание трещин	
Взрывом	Изготовление крупногабаритных деталей из труднодеформируемых металлов. При мелкосерийном производстве матрицы изготавливают из эпоксидных композиций, цемента и гипса, а при крупносерийном — из нормализованной стали	

15. Специальные методы обработки давлением

Метод обработки	Оборудование	Класс точности	Класс шероховатости по ГОСТ 2789-73	Особенности и область применения
Холодная высадка	Холодно-высадочные прессы-автоматы	2—3	6—7	Изготовление крепежных деталей (болты, гайки, винты, шурупы и др.); при полугорячей высадке точность снижается до 4-го класса
Рельефное обжатие: холодное	Ротационно-ковочные машины	2—8	8—9	Изготовление заготовок диаметром до 15—20 мм с высокой точностью и чистотой. Ковке поддаются углеродистые и легированные стали с относительным удлинением 8%, а также медные, алюминиевые и другие сплавы
горячее		4—5	7—8	

Продолжение табл. 15

Метод обработки	Оборудование	Класс точности	Класс шероховатости ГОСТ 2789—73	Особенности и область применения
Калибровка штампованных поковок: горячая	Кривошипные ковочно-штамповочные прессы, штамповочные молоты и фрикционные прессы	0,1—0,25 мм	6—7	Повышение точности и улучшение качества поверхности деталей после холодной и горячей штамповки. Для повышения точности калибровки, особенно холодной, рекомендуется предварительная сортировка поковок на партии с допуском в пределах 0,3 мм или многократная (2 или 3-я) калибровка
холодная		До 3	9—11	
Раскатка	Раскаточные станы и машины	⇒	1—3	<p>Раскатке подвергают детали диаметром 70—1000 мм и высотой до 150 мм, а гнутые заготовки, сваренные встык, еще больших размеров.</p> <p>Можно получать детали с различными кольцевыми выступами и ребрами по наружной и внутренней поверхностям обода. Раскатывать можно детали, имеющие втулки, ступицы (различные фланцы, шестерни, ролики и т. д.). Заготовки под раскатку колец получают вырубкой из толстого листа или высадкой с прошивкой из круглого прутка. Применяют заготовки, полученные гибкой на вальцах с последующей сваркой встык специального прокатного профиля</p>
Ротационная вытяжка: в холодном состоянии	Гидравлические прессы и специальные установки	2—3	8—9	Изготовление корпусов снарядов, ракет, секций фюзеляжей и других деталей из алюминия, меди, титана и стали при выдавливании роликом. Изготовление матриц для прессформ, штампов и т. п. при вытяжке жестким пуансоном
в горячем состоянии		4—5	7—8	
Фасонная ковка	Радиально-ковочные машины	5—7	3—7	Изготавливают детали круглого сплошного сечения диаметром до 100 мм и полые изделия (с помощью фасонной оправки) наружным диаметром до 125 мм. За один цикл ковки заготовку можно деформировать на 6—7 диаметров на длине ковки 1000—1250 мм при уменьшении диаметра заготовки за одно обжатие на 12—15 мм

Продолжение табл. 15

Метод обработки	Оборудование	Класс точности	Класс шероховатости ГОСТ 2789-78	Особенности и область применения
<p>Электровысадка: при свободном деформировании</p> <p>с приданием высаживаемому объему металла заданной формы</p>	<p>Электровысадочные машины</p>	<p>—</p>	<p>—</p>	<p>Для набора металла на заготовках под штамповку ($l : d \leq 40$)</p> <p>Изготовление поковок с местным утолщением; рычаги, шомпола и т. п.</p>
<p>Вальцовка</p>	<p>Ковочные вальцы одно- и двух-опорные</p>	<p>—</p>	<p>—</p>	<p>Изготовление заготовок для последующей штамповки; поковок гаечных и разводных ключей, плоскогубцев, барашков, скоб, лопаток турбин, сельскохозяйственных кос, вил, ножниц и т. д.</p>
<p>Гибка механическая</p>	<p>Механические и гидравлические вертикальные прессы, бульдозеры, копировально-гибочные, листогибочные, профилегибочные и гибочно-прокатные станки</p>	<p>—</p>	<p>—</p>	<p>Холодная и горячая гибка крупногабаритных деталей, правка профилей</p>
<p>Дробеструйная и дробеметная гибка</p>	<p>Специальные установки</p>	<p>—</p>	<p>3—6</p>	<p>Гибка панелей и листовых деталей. Формообразование обычно производится за несколько проходов детали через поток дроби в стационарной камере</p>
<p>Накатка</p>	<p>Специальные накатные станки</p>	<p>3—4</p>	<p>8—9</p>	<p>Накатка резьб и рельефа на деталях типа тел вращения</p>

16. Штамповочные уклоны на песковках

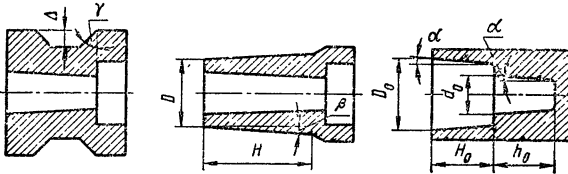
Покоски, изготовляемые на молотах

Отношение $\frac{h}{b}$ или $\frac{h}{d}$	Уклоны, градусы				
	обычные		двойные		
	наруж- ный α	внутрен- ний β	основной α	входной γ	
Св. 0,5 до 1,0	5	7	3	7	<p>Пример</p> $\frac{h_1}{b_1} = 0,85 \rightarrow \alpha = 5^\circ$ $\frac{h_2}{b_2} = 4 \rightarrow \beta = 10^\circ$ $\frac{h_3}{b_3} = 0,5 \rightarrow \alpha = 3^\circ$ и $\gamma = 7^\circ$
Св. 1,0 до 2,5	7	10	3	7	
Св. 2,5 до 4,0	7	10	3	7	
Св. 4,0 до 5,5	7	12	5	10	
Св. 5,5	10	12	5	12	

Покоски, изготовляемые на прессах

Уклоны	Покоски типа тела вращения			Покоски сложной (удлиненной) формы	
	Осадка	Выдавли- вание	Осадка и выдав- ливание	Осадка	Осадка и выдав- ливание
Внешние α	1—2°	3—5°	3—5°	3—5°	5—7°
Внутренние β	2—3°	5—7°	5—7°	5—7°	5—7°

Покоски изготовляемые на ГКМ



$\frac{H_0}{D_0}$ или $\frac{h_0}{d_0}$	До 0,5	0,5— 1,5	1,5— 2,5	2,5— 3,5	3,5— 4,5	4,5— 5,5	5,5— 6,5	6,5— 7,5	7,5— 8,5
α	0	15' *	30'	45'	1°	1° 15'	1° 30'	1° 45'	2°
$\frac{H}{D}$	До 0,3	0,3—1,3			1,3—2,3		2,3—3,3		3,3— 4,3
β	0	15'			30'		45'		1°
Δ	До 10	10—30			30—50		50—80		80 и более
γ	1°	3°			5°		7°		10°

ПРИПУСКИ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Припуск — слой материала, назначаемый для компенсации погрешностей, возникающих в процессе изготовления детали, в целях обеспечения заданного ее качества. Различают минимальные, номинальные и максимальные припуски на обработку. Они удаляются с поверхности заготовки в процессе ее обработки для получения детали.

Расчету подлежит минимальный припуск на обработку. Колебание же размера обрабатываемой поверхности заготовки в пределах допуска на ее изготовление создаст колебание величины припуска от минимального до максимального.

Величина припуска для элементарной поверхности детали может быть назначена на основе расчета аналитическим методом или определения по соответствующим справочным таблицам (ГОСТам, РТМ или нормальям).

РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИПУСКОВ

Формулы и нормативные материалы, приведенные в этой главе, охватывают общие для различных отраслей машиностроения типовые детали машин и материалы.

Формулы и указания к расчету припусков на обработку методом автоматического получения размеров. Минимальный припуск при обработке наружных поверхностей определяется наименьшими предельными размерами, а при обработке внутренних поверхностей — наибольшими предельными размерами заготовок на смежных технологических переходах, т. е. для наружных поверхностей

$$z_i \min = a_{i-1} \min - a_i \min; \tag{1}$$

$$2z_i \min = D_{i-1} \min - D_i \min; \tag{2}$$

внутренних

$$z_i \min = a_i \max - a_{i-1} \max; \tag{3}$$

$$2z_i \min = D_i \max - D_{i-1} \max; \tag{4}$$

где $z_i \min$ — минимальный припуск на сторону на выполняемый технологический переход; $2z_i \min$ — минимальный припуск на обе стороны или по диаметру; $a_{i-1} \min$, $D_{i-1} \min$, $a_{i-1} \max$ и $D_{i-1} \max$ — соответственно наименьшие и наибольшие предельные размеры, полученные в партии заготовок на предшествующем технологическом переходе; $a_i \min$, $D_i \min$, $a_i \max$ и $D_i \max$ — соответственно наименьшие и наибольшие предельные размеры, полученные в партии заготовок на выполняемом технологическом переходе.

Минимальный припуск при обработке противоположащих поверхностей: последовательной

$$z_i \min = R_z i_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_{yi}; \tag{5}$$

параллельной

$$2z_i \min = 2(R_z i_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_{yi}); \tag{6}$$

при обработке наружных и внутренних поверхностей вращения:

$$2z_{i \min} = 2 \left(R_{z i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{yi}^2} \right). \quad (7)$$

Здесь $R_{z i-1}$, T_{i-1} и ρ_{i-1} — соответственно высота неровностей профиля (характеризует шероховатость поверхности), глубина дефектного поверхностного слоя и суммарное значение пространственных отклонений для элементарной поверхности на предшествующем переходе; ε_{yi} — погрешность установки заготовки при выполняемом переходе.

Значение ρ определяется как векторная сумма пространственных отклонений $\bar{\rho} = \bar{\rho}_1 + \bar{\rho}_2$; погрешность установки — в общем виде как векторная сумма погрешности базирования ε_6 и погрешности закрепления ε_3 , т. е. $\bar{\varepsilon}_y = \bar{\varepsilon}_6 + \bar{\varepsilon}_3$. При направлении векторов: совпадающем

$$\rho = \rho_1 + \rho_2 \text{ и } \varepsilon_y = \varepsilon_6 + \varepsilon_3,$$

противоположном

$$\rho = \rho_1 - \rho_2 \text{ и } \varepsilon_y = \varepsilon_6 - \varepsilon_3.$$

В тех случаях, когда предвидеть направление векторов затруднительно, их суммируют по правилу квадратного корня:

$$\rho = \sqrt{\rho_1^2 + \rho_2^2} \text{ и } \varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2}.$$

Максимальный припуск на обработку:

$$z_{i \max} = z_{i \min} + \delta_{i-1} - \delta_i; \quad (8)$$

$$2z_{i \max} = 2z_{i \min} + \delta_{Di-1} - \delta_{Di}, \quad (9)$$

где δ_{i-1} и δ_{Di-1} — допуск по размеру на предшествующем переходе; δ_i и δ_{Di} — допуск по размеру на выполняемом переходе.

Значение максимальных припусков при отсутствии припусков для технологических целей (уклонов, напусков и т. п.) принимают за глубину резания, т. е. $t = z_{\max}$, что необходимо для определения режимов резания (подачи и скорости резания) и выбора оборудования по мощности привода¹.

Номинальный припуск на обработку поверхностей: наружных

$$z_{i \text{ nom}} = z_{i \min} + H_{i-1} - H_i; \quad (10)$$

$$2z_{i \text{ nom}} = 2z_{i \min} + H_{Di-1} - H_{Di}; \quad (11)$$

внутренних

$$z_{i \text{ nom}} = z_{i \min} + B_{i-1} - B_i; \quad (12)$$

$$2z_{i \text{ nom}} = 2z_{i \min} + B_{Di-1} - B_{Di}, \quad (13)$$

где H_{i-1} , H_{Di-1} , H_i и H_{Di} — нижние отклонения по размерам соответственно на предшествующем и выполняемом переходах; B_{i-1} , B_{Di-1} , B_i и B_{Di} — верхние отклонения по размерам соответственно на предшествующем и выполняемом переходах. При этом H_{Di-1} , H_{Di} , B_{Di-1} и B_{Di} относятся к диаметральному размеру.

Значение номинальных припусков необходимо для определения номинальных размеров, по которым изготавливают технологическую оснастку (штампы, пресс-формы, модели, волокни, приспособления).

¹ При технологическом припуске $t = z_{\max} + \Delta$, где Δ — наибольшая величина технологического припуска.

Порядок расчета припусков на обработку и предельных размеров по технологическим переходам для наружных (внутренних) поверхностей.

1. Пользуясь рабочим чертежом детали и картой технологического процесса механической обработки, записать в расчетную карту обрабатываемые элементарные поверхности заготовки и технологические переходы в порядке последовательности их выполнения при обработке по каждой элементарной поверхности от черновой заготовки до окончательной обработки (см. пример расчета табл. 64).

2. Записать значения R_z , T , ρ , ε_y и δ .

3. Рассчитать минимальные припуски на обработку z_{\min} по всем технологическим переходам.

4. Записать для конечного перехода в графу «Расчетный размер» n и m е n - m и n - m (наибольший) предельный размер детали по чертежу.

5. Для перехода, предшествующего конечному, рассчитать размер прибавлением к наименьшему предельному размеру (вычитанием из наибольшего предельного размера) по чертежу расчетного припуска z_{\min} .

6. Последовательно определить расчетные размеры для каждого предшествующего перехода прибавлением к расчетному размеру (вычитанием из расчетного размера) следующего за ним смежного перехода расчетного припуска.

7. Записать n и m е n - m (наибольшие) предельные размеры по всем технологическим переходам, округляя их u в e n - m (уменьшением) расчетных размеров; округление производить до того же знака десятичной дроби, с каким дан допуск на размер для каждого перехода.

8. Определить n и m е n - m (наименьшие) предельные размеры n и m е n - m (вычитанием) допуска к округляемому n и m е n - m (из округленного наибольшего) предельному размеру.

9. Записать предельные значения припусков z_{\max} как разность n и m е n - m (наибольших) предельных размеров и z_{\min} как разность n и m е n - m (наибольших) предельных размеров n и m е n - m (выполняемого и предшествующего переходов).

10. Определить общие припуски $z_{o \max}$ и $z_{o \min}$, суммируя промежуточные припуски на обработку.

11. Проверить правильность произведенных расчетов по формулам

$$z_i \max - z_i \min = \delta_{i-1} - \delta_i;$$

$$2z_i \max - 2z_i \min = \delta_{D_{i-1}} - \delta_{D_i};$$

$$z_o \max - z_o \min = \delta_s - \delta_d;$$

$$2z_o \max - 2z_o \min = \delta_{D_s} - \delta_{D_d}.$$

Допуски и качество поверхности на конечных технологических переходах принимать по чертежу детали, проверяя по нормативам возможность получения их запроектированным способом обработки.

В связи с разнохарактерностью действий при расчете размеров для наружных и внутренних поверхностей рекомендуется во избежание ошибок группировать в расчетной карте наружные и внутренние поверхности, а не записывать их вперемешку.

При обработке взаимосвязанных плоских поверхностей от переменных баз рекомендуется строить размерные цепи, определяющие взаимосвязь обрабатываемой поверхности с измерительной базой.

Слагаемые, входящие в формулы, зависят от конфигурации и размерных соотношений, т. е. от классов деталей, материала и методов обработки. Поэтому нормативы для расчета припусков на обработку и конкретные указания относительно пространственных отклонений даны в зависимости от этих факторов. Для отверстий, на точность обработки которых класс детали не влияет, нормативы даны независимо от классов обрабатываемых деталей. Пространственные отклонения необходимо учитывать у черных заготовок (под первый технологический переход обработки); после черновой и получистовой обработки лезвийным

инструментом (под последующий технологический переход); после термообработки, если даже деформация ранее не имела места.

В связи с закономерным уменьшением пространственных отклонений, при обработке в условиях упругой системы, они становятся ничтожными после чистовой и отделочной обработки и ими пренебрегают.

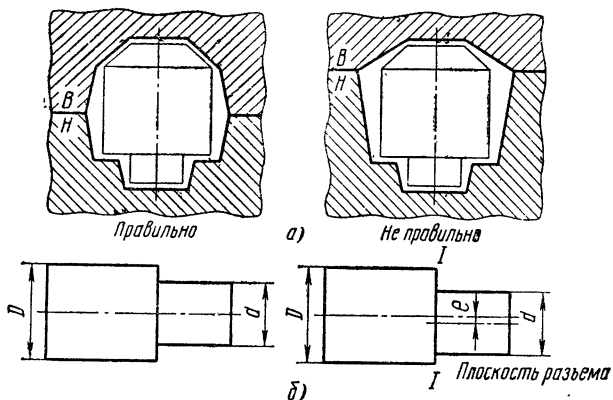


Рис. 1

При определении припусков следует учитывать только те пространственные отклонения, которые не связаны с допуском на размер элементарной поверхности и имеют самостоятельное значение. Так наиболее существенные отклонения формы заготовки при штамповке образуются в результате смещения верхней половины штампа относительно нижней. Обычно линию разреза штампов делают в пределах элементарной поверхности (рис. 1, а), что позволяет легко выявить смещение

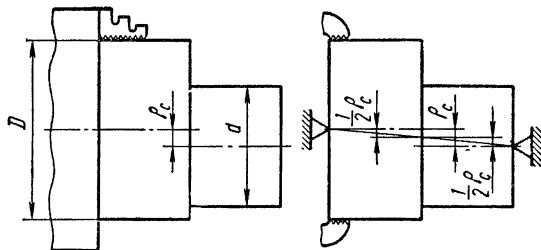


Рис. 2

штампа и определить его величину. В этом случае смещение штампа связано с допуском на размер, а величина его регламентируется в пределах допуска на размер или иногда точнее. Если смещение штампов сделать по линии контакта двух элементарных поверхностей, характеризуемых диаметрами D и d (рис. 1, б), то в этом случае смещение штампов уже не будет связано ни с допуском на размер D , ни с допуском на размер d , а будет иметь самостоятельное значение. Для компенсации данной погрешности необходимо предусмотреть дополнительный слой материала. Величина компенсации и место компенсации, как показывают исследования, зависят от схемы установки заготовки при обработке (рис. 2).

Так, при установке двухступенчатого валика в патроне и при $\varepsilon_y = 0$ для диаметра D пространственное отклонение $\rho = 0$, а для диаметра d $\rho = \rho_c$, где ρ_c — величина несоосности ступеней вала, определяемая по нормативам. При установке этого же валика в центрах и при $\varepsilon_{ц} = 0$ $\rho = \frac{1}{2} \rho_c$ для обоих диаметров.

Здесь ε_y — погрешность установки заготовки в патроне, а $\varepsilon_{ц}$ — погрешность зацентровки валика. В случаях несоосности и коробления общая величина пространственной погрешности $\rho_o = \rho_c + \rho_k$, где ρ_k — общая изогнутость при обработке в центрах, $\rho_k = \Delta_k l$, если известна удельная изогнутость Δ_k [мкм/мм] и длина, на которой определяется изогнутость l [мм]. В данном случае направление векторов ρ_c и ρ_k совпадает, и угол (ρ_c, ρ_k) равен 0° . Это объясняется тем, что коробление заготовки происходит обычно в направлении меньшей жесткости, совпадающем с направлением смещения осей.

Типовые схемы установок и соответствующие им погрешности, отнесенные к выдерживаемому размеру, приведены в гл. I.

В табл. 1—10 приведены данные для расчета припусков на обработку заготовок из проката, в табл. 11—19 — штампованных заготовок и в табл. 20—23 — отливок.

Указания к расчету припусков и предельных размеров при изготовлении заготовок из проката. Наименьший предельный диаметр заготовки (прутка) рассчитывают по формуле

$$D_{3 \text{ min}} = D_{\text{д min}} + 2z_{o \text{ min}}, \quad (14)$$

где $D_{\text{д min}}$ — наименьший предельный размер детали по чертежу; $2z_{o \text{ min}}$ — расчетный минимальный общий припуск на обработку по диаметру.

Принимают ближайший по сортаменту диаметр прутка $D'_{3 \text{ min}}$, наименьший предельный размер которого должен быть не менее $D_{3 \text{ min}}$, при этом действительный общий припуск на обработку

$$2z'_{o \text{ min}} = D'_{3 \text{ min}} - D_{\text{д min}}. \quad (15)$$

Аналогично поступают, если прокат имеет квадратное, прямоугольное и т. п. сечение. Пространственной погрешностью заготовок из проката является изогнутость оси (кривизна).

К а л и б р о в а н н ы й п р о к а т. Сортамент проката и его точностная характеристика принимается по ГОСТ 7417—57. Данные для расчета припусков на обработку валов из проката приведены в табл. 1—3.

Г о р я ч е к а т а н ы й п р о к а т. Сортамент проката и его точностная характеристика принимается по ГОСТ 2590—57. Данные для расчета припусков на обработку валов из проката приведены в табл. 4—7.

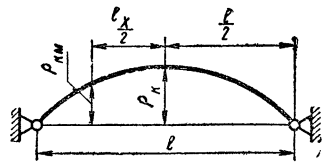
Для ступенчатых валов припуски и предельные размеры рассчитывают по большему диаметру, а при их равенстве — по диаметру, к которому предъявляют более высокие требования по точности и качеству поверхности; размер проката принимают одинаковым для всех ступеней вала. В этом случае на остальные ступени предусматривают напуск, упрощающий конфигурацию заготовки. Если напуск на некоторых ступенях не может быть снят за проход, то 60—70% его удаляют на первом и 40—30% на втором переходах. Дальнейшую обработку шеек ступенчатого вала, на которых был предусмотрен напуск, ведут в соответствии с расчетными предельными размерами.

Данные для расчета припусков на обработку отверстий приведены в табл. 24—25.

П о п е р е ч н о - в и н т о в о й п р о к а т. Данные для расчета припусков на обработку наружных и торцовых поверхностей валов из проката приведены в табл. 9—10.

1. Пространственные погрешности калиброванного проката

Диаметр проката, мм	Удельная кривизна проката в мкм на 1 мм длины для проката					
	в состоянии поставки для классов точности				без правки после термообработки	
	2а	3	3а и 4	5	в печах	ТВЧ
До 25	0,5	1,00	2	3	1,6	0,8
Св. 25 до 50	0,5	0,75	1	?	1,3	0,65
50—100	—	0,50	1	1	0,9	0,45



Примечания 1. При установке в центрах наибольшую кривизну определяют по формуле

$$\rho_k = \Delta_k l,$$

наибольшую местную кривизну

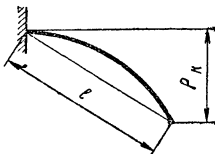
$$\rho_{k,m} = \frac{\Delta_k (l^2 - l_x^2)}{l (1 + 4\Delta_k^2)} \quad (\text{точно});$$

$$\rho_{k,m} = (l - l_x) \Delta_k \quad (\text{приближенно})$$

2. При консольном креплении наибольшую кривизну определяют по формуле

$$\rho_k = l \frac{\Delta_k}{\Delta_k^2 + 0,25} \quad (\text{точно});$$

$$\rho_k = 2\Delta_k l \cos \arcsin (\Delta_k) \quad (\text{приближенно})$$



Здесь Δ_k — удельное значение кривизны в $\left[\frac{\text{мкм}}{\text{мм}} \right]$;

3. Величину кривизны после выполняемого перехода обработки рассчитывают по точной или приближенной формуле (см. табл. 30).

2. Точность и качество поверхности заготовки после механической обработки

Класс точности проката	Способ обработки	Класс точности	Класс шероховатости поверхности	R_2	T
				мкм	
Н а р у ж н ы е п о в е р х н о с т и					
2а, 3	Бесцентровое шлифование однократное: после термообработки	2—1	8—10	3—0,8	—
3	до термообработки	2а	7	6	12
3а и 4	черновое	3	6	10	20
	чистовое	2а	7	6	12
	тонкое	2—1	8—10	3—0,8	6—2
5	Обтачивание: однократное	4	4	30	20
	двухкратное	3а	5	15	15
	Шлифование на круглошлифовальных станках: черновое	3	6	10	20
	чистовое	2а—2	7—8	5—3	15
	тонкое	2—1	8—10	3—0,8	—
Т о р ц о в ы е п о в е р х н о с т и					
После отрезки	Подрезание: черловое	5	3	50	50
	чистовое	4	4	30	30
	Шлифование на круглошлифовальных станках однократное	?	7	5	—
<p>Примечания: 1. Прокат 2а—4-го классов точности лезвийным инструментом не обрабатывают; прокат 5-го класса обрабатывают на токарных автоматах или револьверных станках.</p> <p>2. Прокат 2а класса точности шлифовать до термообработки нецелесообразно.</p> <p>3. Допуски на диаметральные размеры приведены в табл. 66.</p>					

3. Качество наружной поверхности калиброванного проката

Прокат	Класс шероховатости поверхности	R_z	T
		мкм	
Гладкотянутый	3	60	60
Шлифованный	6	10	20
Примечание. Качество торцевой поверхности после резки проката см. в табл. 5.			

4. Качество наружной поверхности горячекатаного проката

Диаметр проката, мм	Качество поверхности при точности проката			
	повышенной		обычной	
	R_z	T	R_z	T
	мкм			
До 25	100	100	150	150
Св. 25 до 75	100	150	150	250
Св. 75 до 150	150	200	200	300
Св. 150 до 250	250	300	300	400
См. примечание к табл. 5.				

5. Точность и качество торцевой поверхности горячекатаного проката после резки по упору

Способ резки	Диаметр отрезаемой заготовки D , мм	Точность резки по длине заготовки l , мм (\pm)	Качество поверхности $(R_z + T)$, мм	Удельная неперпендикулярность Δ_H , мкм/мм
На ножницах	До 25	1,0	0,3	См. примечание
	Св. 25 до 75	1,3		
	Св. 75 до 150	1,8		
	Св. 150	2,3		
Дисковыми пилами, приводными ножовками, дисковыми фрезами на станках	До 25	0,3	0,2	0,01
	Св. 25 до 75	0,4		
	Св. 75	0,5		
Отрезными резцами на станках токарного типа	До 25	0,25	0,2	0,045
	Св. 25 до 75	0,35		
	Св. 75 до 150	0,40		
	Св. 150 до 250	0,50		

Примечание. При резке на ножницах и прессах образуется вмятина в направлении, перпендикулярном к поверхности среза, достигающая $0,2D$ и скос по торцу до 3° . Величину вмятины и скоса необходимо учитывать при последующей обработке заготовки по торцу и по диаметру.

6. Пространственные погрешности горячекатаного проката

Диаметр заготовки, мм	Удельная кривизна проката (в мкм) на 1 мм длины для проката		
	без правки после термообработки		после правки на прессах
	в печах	ТВЧ	
До 25	2,0	1,00	0,15
Св. 25 до 50	1,3	0,65	0,12
Св. 50 до 75	0,9	0,45	0,10
Св. 75 до 110	0,6	0,30	0,08
Св. 110 до 150	0,5	0,20	0,06
Св. 150	0,3	0,15	0,05

Примечания: 1. Формулы для расчета местной и общей кривизны после резки см. табл. 1.
2. Суммарное значение пространственных отклонений для гладкого валика при обработке в центрах

$$\rho = \sqrt{\rho_k^2 + \rho_{\text{ц}}^2}$$

где ρ_k — величина кривизны (местная или наибольшая); $\rho_{\text{ц}}$ — величина смещения оси заготовки в результате погрешности зацентровки

$$\rho_{\text{ц}} = 0,25 \sqrt{\delta^2 + 1}$$

Здесь δ — допуск на диаметральный размер базовой поверхности заготовки, использованной при центровке, мм. Для ступенчатого валика значение ρ см. стр. 178.
3. Остаточную кривизну заготовки после выполнения перехода обработки рассчитывают по точной или приближенной формуле (см. табл. 30).

7. Точность и качество поверхности заготовки после механической обработки

Способ обработки	Класс точности	Класс шероховатости поверхности	R_z	T
			мкм	
Н а р у ж н ы е п о в е р х н о с т и				
Обтачивание проката: 1) повышенной точности черновое	5	3	60	60
чистовое	4	4	30	30
тонкое	3—2а	7—8	6—3	—
однократное	4	4	30	30
2) обычной точности; черновое	7	2	120	120
получистовое	5	3	60	60
чистовое	4—3а	4—5	30—20	30
тонкое	3—2а	7—8	6—3	—
Шлифование: черновое	3	6	10	20
чистовое	2а—2	7—8	5—3	5

Продолжение табл. 7

Способ обработки	Класс точности	Класс шероховатости поверхности	R_z	T
			мкм	
тонкое	2—1	8—10	3—0,8	—
однократное	2а—2	7—8	5—3	5
Торцовые поверхности				
Подрезание: черновое	5	3	60	60
чистовое	4	4	30	30
Шлифование на круглошлифовальных станках	2	6	10	20

Примечания: 1. При шлифовании после закалки из расчетной формулы припуска исключают величину T .
 2. При совмещенных установочной и измерительной базах допуски принимать в соответствии с указанными классами точности; при несовмещенных — к допуску, соответствующему указанному классу точности, прибавлять погрешность базирования, равную допуску на размер, связывающую установочную и измерительную базы.
 3. При обработке в центрах погрешность базирования заготовки в осевом направлении определяется просадкой заготовки на центр (см. гл. 1 стр. 100).

8. Качество наружной поверхности поперечно-винтового проката

Диаметр проката, мм	Марка стана	Высота неровностей профиля R_z , (мм) при точности прокатки		Дефектный слой T , мм
		повышенной	нормальной	
До 10	10 и 20	0,06	0,10	0,10
Св. 10 до 18		0,10	0,18	0,18
Св. 18 до 30	70 и 80	0,18	0,30	0,30
Св. 30 до 50		0,30	0,50	0,50
Св. 50 до 80		0,50	0,80	0,80
Св. 80 до 120		0,80	1,20	1,20
Св. 120 до 180	120 и 220	1,20	1,80	1,80
Св. 180 до 220		1,80	2,20	2,20

Примечания: 1. Качество поверхности дано после термообработки (нормализации или улучшения).
 2. Пониженная высота неровностей профиля может быть обеспечена за счет минимальных колебаний температуры нагрева, скорости прокатки и давления в гидросистеме.

9. Точность и качество торцовой поверхности после холодной резки на прессах

Диаметр проката, мм	Допуск на длину при резке по упору, мм	R_z	T
		мкм	
До 10	1	150	1000
10—18	1,5	150	1000
18—30	2	200	1200
30—50	3	200	1200
50—80	4	200	1200
80—120	5	300	1500
120—180	6	300	1500

10. Пространственные погрешности поперечно-винтового проката

Точность проката	Удельная кривизна проката (ν мкм) на 1 мм длины проката
Нормальная	4
Повышенная	2

Примечание. Формула для расчета пространственных погрешностей см. табл. 6.

11. Качество поверхности штампованных поковок

Масса штампованной поковки, кг	R_z	T
	мкм	
До 0,25	80	150
Св. 0,25 до 4,00	160	200
Св. 4,00 до 25	240	250
Св. 25 до 40	320	300
Св. 40 до 100	350	350
Св. 100 до 200	400	400

Примечание. Высота неровностей профиля R_z дана после пескоструйной обработки поверхности поковок или травления; при дробеструйной или дробеметной обработке R_z принимают равной 400 мкм независимо от массы поковки.

12. Смещение осей поковок, штампуемых в разных половинах штампа, мм

Масса штампованной поковки Q , кг	Штамповка					
	на молотах			на прессах и горизонтально-ковочной машине		
	Группа точности ¹					
	1	2	3	1	2	3
До 0,25	0,30	0,4	0,6	0,20	0,3	0,5
Св. 0,25 до 0,63	0,35	0,5	0,8	0,25	0,4	0,6
Св. 0,63 до 1,60	0,40	0,6	1,2	0,30	0,5	0,7
Св. 1,60 до 2,50	0,45	0,8	1,4	0,35	0,6	0,8
Св. 2,50 до 4,00	0,50	1,0	1,5	0,40	0,7	0,9
Св. 4,00 до 6,30	0,63	1,1	1,7	0,50	0,8	1,0
Св. 6,30 до 10,00	0,70	1,2	2,0	0,60	0,9	1,2
Св. 10 до 16	0,8	1,3	2,1	0,60	1,0	1,3
Св. 16 до 25	0,9	1,4	2,3	0,70	1,1	1,4
Св. 25 до 40	1,0	1,6	2,6	0,70	1,2	1,6
Св. 40 до 63	1,2	1,8	2,9	—	—	—
Св. 63 до 100	1,4	2,2	3,5	—	—	—
Св. 100 до 125	1,6	2,4	3,8	—	—	—
Св. 125 до 160	1,8	2,7	4,4	—	—	—
Св. 160 до 200	2,2	3,2	5,0	—	—	—

¹ Группы точности: 1 — повышенная; 2 — нормальная; 3 — пониженная.

13. Пространственные погрешности штампованных поковок

Эксцентricность и коробление поковок типа дисков и рычагов, получаемых на прессах и горизонтально-ковочных машинах

Толщина (высота), длина или ширина поковок, мм	Эксцентricность отверстия, мм			Кривизна (стрела прогиба) и коробление, мм		
	Группа точности					
	1	2	3	1	2	3
До 50	0,50	0,8	1,0	0,25	0,5	0,5
Св. 50 до 120	0,63	1,4	1,5	0,25	0,5	0,5
Св. 120 до 180	0,80	2,0	2,5	0,32	0,5	0,7
Св. 180 до 260	1,00	2,8	3,5	0,32	0,6	0,9
Св. 260 до 360	1,50	3,2	4,5	0,40	0,7	1,0
Св. 360 до 500	2,50	3,6	5,5	0,50	0,8	1,1

Удельная кривизна поковок типа валов

Диаметр поковки, мм	Δ_k (в мкм) на 1 мм длины после				
	штамповки для группы точности		правка на прессах	термообработки	
	1 и 2	3		в печах	ТВЧ
До 25	5	10	0,20	2,5	1,25
Св. 25 до 50	5	10	0,15	1,5	0,75
Св. 50 до 80	3	6	0,12	1,0	0,50
Св. 80 до 120	2	4	0,10	1,0	0,50
Св. 120 до 180	1,6	3	0,08	1,0	0,50
Св. 180 до 260	1,4	2,5	—	—	—
Св. 260 до 360	1,2	2,0	—	—	—
Св. 360 до 500	1,1	1,5	—	—	—

Продолжение табл. 13

Удельная кривизна стержня после высадки фланца или утолщения на горизонтально-ковочной машине						Смещение оси фланца или утолщения относительно оси стержня при их высадке на горизонтально-ковочной машине			
Длина стержня, мм	Δ_K (в мкм) на 1 мм длины при диаметре стержня, мм					Высота фланца или утолщения, мм	$\rho_{см}$ в мм при диаметре фланца или утолщения, мм		
	До 18	18—30	30—50	50—80	80—120		До 50	50—120	120—260
До 120	6	8	12	16	20	До 18	0,25	0,25	0,50
Св. 120 до 180	4	6	8	12	16	Св. 18 до 50	0,25	0,50	0,50
Св. 180 до 500	2	4	4	6	6	Св. 50 до 120	0,50	0,50	0,75
Св. 500 до 1000	2	2	2	3	3	Св. 120 до 180	0,50	0,75	0,75

Неперпендикулярность торца фланца к оси поковки		
Масса штампованной поковки, кг	$\Delta_{н\tau}$, мм при штамповке	
	на прессах	горизонтально-ковочной машине
До 0,25	0,2	0,3
Св. 0,25 до 1,60	0,3	0,5
Св. 1,6 до 4	0,4	0,7
Св. 4 до 10	0,5	0,9
Св. 10 до 25	0,6	1,1
Св. 25 до 40	0,7	1,2

Здесь δ — допуск на диаметральный размер базовой поверхности заготовки, использованной при зацентровке, мм.

3. Формулы для расчета местной и наибольшей кривизны приведены в табл. 1.

4. Для ступенчатых валов припуска рассчитывают по среднему диаметру

$$D_{ср} = \frac{d_1 l_1 + d_2 l_2 + \dots + d_n l_n}{L},$$

где d_1, d_2, \dots — диаметр ступеней; l_1, l_2, \dots — длины ступеней; L — общая длина детали.

Для стержневых деталей типа рычагов и пластин $D_{ср}$ определяется по среднему сечению стержня.

Примечания. 1. При обработке наружной поверхности поковки припуски определяют по формуле при обработке в патроне

$$2z_i \min = 2(R_{Zi-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \epsilon_{yi}^2}),$$

в центрах

$$2z_i \min = 2(R_{Zi-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1}).$$

2. Суммарное значение пространственных погрешностей определяют по формуле при обработке в патроне для наружной поверхности

$$\rho = \sqrt{\rho_{см}^2 + \rho_{кор}^2} \text{ и для отверстия}$$

$$\rho = \sqrt{\rho_{см}^2 + \rho_{экс}^2},$$

в центрах для наружной поверхности

$$\rho = \sqrt{\rho_{ко}^2 + \rho_{ц}^2} \text{ или } \rho = \sqrt{\rho_{км}^2 + \rho_{ц}^2},$$

где $\rho_{ко}$ — наибольшая кривизна заготовки; $\rho_{км}$ — местная кривизна заготовки; $\rho_{ц}$ — погрешность центровки поковки; $\rho_{ц} = 0,25 \sqrt{\delta^2 + 1}$.

Продолжение табл. 13

5. Остаточную кривизну после выполнения перехода обработки следует рассчитывать по точной или приближенной формуле (см табл. 30).
 6. Пространственную погрешность для торцовых поверхностей определяют по таблице:

Технологический переход	Формула для расчета	Здесь Δ_n — удельная величина неперпендикулярности, мкм/мм; при расчете припусков на обработку торцовых поверхностей одновенцовых шестерен величину коробления после термообработки принимать равной 0,8 мкм/мм; D — диаметр торцовой поверхности, мм; R и r — радиусы наружной и внутренней поверхностей, мм. При разности $(R - r) < 50$ мм отклонением от перпендикулярности можно пренебречь. 7. Группа точности 1 характерна для массового, 2 — крупносерийного и 3 — серийного производства
Черная заготовка	$\rho_{кор} = \Delta_n D$ или $\rho_{кор}$ (см табл. 13)	
После обработки: черновой	$0,20 (R - r) \rho_{кор}$	
получистовой	$0,15 (R - r) \rho_{кор}$	
чистовой	$0,10 (R - r) \rho_{кор}$	

14. Качество наружной поверхности поковок послековки на вертикальных радиально-ковочных машинах

Высота микрогеометрической погрешности (огранка)

$$h = AR,$$

где R — радиус бойка, мм; A — коэффициент, зависящий от отношения радиуса поковки r к радиусу бойка R и числа оборотов n поковки в процессековки.

r/R	A при n об/мин			
	16	22	30	42
0,4	0,0018	0,0018	0,0034	0,0068
0,5	0,0011	0,0020	0,0036	0,0071
0,6	0,0010	0,0019	0,0035	0,0068
0,7	0,0008	0,0016	0,0031	0,0060
0,3	0,0006	0,0012	0,0023	0,0045
0,9	0,0004	0,0008	0,0012	0,0023

Примечания: 1 Обезуглероженный слой следует определять по формуле

$$T = 0,01d \text{ мм,}$$

где d — номинальный диаметр детали по чертежу, мм.

2. При повышенных требованиях к точности и чистоте поверхности к расчетному припуску следует прибавлять 0,2 мм.

15. Пространственные погрешности поковок послековки на вертикальных радиально-ковочных машинах

Диаметр поковки, мм	Удельная кривизна поволоков (в мкм) на 1 мм длины проката
До 60	2
Св. 60	1
Примечание. Определенные суммарные значения погрешности ρ см. табл. 13.	

16. Качество торцевой поверхности поковки послековки

Диаметр торцевой поверхности, мм	R_z	T	Диаметр торцевой поверхности, мм	R_z	T
	мкм			мкм	
До 30	200	300	Св. 50 до 80	400	800
Св. 30 до 50	300	500	Св. 80 до 120	500	1200

17. Пространственные погрешности поволоков за счет дефекта резки исходной заготовки и последующей поковки

Диаметр торцевой поверхности, мм	Величина дефекта ρ , мм	<p>Примечания: 1. Для промежуточных торцевых поверхностей пространственной погрешностью является неперпендикулярность торца;</p> $\rho = \Delta_n \frac{l}{D},$ <p>где Δ_n — удельная величина неперпендикулярности; для диаметра торцевой поверхности до 60 мм $\Delta_n = 0,05$ мкм/мм и для диаметра свыше 60 мм $\Delta_n = 0,1$ мкм/мм; l — расстояние от середины наибольшего диаметра ступени до торцевой поверхности, пространственную погрешность которой определяют, мм; D — диаметр торцевой поверхности, мм.</p> <p>2. Для поверхностей концевых ступеней пространственная погрешность</p> $\rho = \sqrt{\rho_1^2 + \rho_2^2},$ <p>где ρ_1 — погрешность за счет неперпендикулярности торца; ρ_2 — погрешность за счет дефектов резки (см. табл. 17).</p>
До 30	1,5	
Св. 30 до 50	1,5	
Св. 50 до 80	4	
Св. 80 до 120	5	

18. Точность и качество поковки типа клапанов, получаемых на ковочно-штамповочных прессах методом выдавливания

Элемент детали	Допуск, мм	Качество поверхности		Примечания
		R_z	T	
		мкм		
Стебель	0,3	40	40	<p>1. Пространственные погрешности поковки включают изогнутость оси</p> $\rho_{пв} = 0,6 \text{ мкм/мм}$ <p>и смещение осей</p> $\rho_{см} = 0,12 \text{ мм}$ <p>2. Определенные суммарные значения погрешности ρ см. в табл. 13.</p>
Тарелка	0,6	40	40	

19. Точность и качество поверхности после механической обработки

Поверхность и способ обработки	Класс точности	Класс шероховатости поверхности	Качество поверхности	
			R_z	T
			мкм	
В а л ы ступенчатые				
<i>Наружные поверхности вращения</i> Обтачивание: однократное	5—4	4	30	30
черновое	5	3	50	50
чистовое	4	5	25	25
тонкое	3—2a	7—8	—	—
<i>Шлифование:</i> черновое	3	6	10	20
чистовое	2a—2	7—8	5	15
тонкое	2—1	8—10	—	—
<i>Торцовые поверхности</i> Подрезание: черновое	5	3	50	50
чистовое	4	4	30	30
Фрезерование	7	2	100	100
Ш е с т е р н и одновенцовые и многовенцовые				
<i>Наружные поверхности вращения</i> Обтачивание: однократное	5—3a	3—6	30	30
черновое	7	2	100	100
получистовое	5	3	50	50
чистовое	4—3a	4—6	25	25
тонкое	3—2a	7—8	—	—

Продолжение табл. 19

Поверхность и способ обработки	Класс точности	Класс шероховатости поверхности	Качество поверхности	
			R_z	T
			мкм	
Шлифование: однократное	2а	7	—	—
черновое	3	6	10	20
чистовое	2а—2	7—8	5	15
тонкое	2—1	8—10	—	—
<i>Торцовые поверхности</i> Подрезание: однократное	5—3а	3—6	30	30
черновое	7	2	100	100
получистовое	5	3	50	50
чистовое	4—3а	4—6	25	25
Шлифование: однократное на круглошлифовальном станке	3—2а	7	—	—
на плоскошлифовальном станке: черновое	3	6	10	20
чистовое	2а—2	7—8	—	—
Рычаги				
<i>Плоскости, параллельные оси детали, и плоскости разъема головок</i> Фрезерование: черновое	5	4	30	50
чистовое	4	6	10	15
Протягивание	3а	7	5	10

Продолжение табл. 19

Поверхность и способ обработки	Классе точности	Класс шероховатости поверхности	Качество поверхности	
			R_z	T
			мкм	
Шлифование: черновое	3	6	10	20
чистовое	2а—2	7—8	—	—
Обтачивание стержня: черновое	5	3	50	50
чистовое	4	4	25	25

Примечания: 1. Допуски (классы точности) даны при совмещенных установочных и измерительных базах; при несовмещенных — допуск должен быть увеличен на погрешность базирования, равную допуску на размер, связывающей установочную и измерительную базы.

2. При выдерживании размера от черной базы допуск определяют по формуле

$$\delta = \frac{\delta_{\text{заг}} + \delta_{\text{обр}}}{2},$$

где $\delta_{\text{заг}}$ — допуск на размер черной заготовки; $\delta_{\text{обр}}$ — допуск на размер после обработки одной стороны; принимать по классу точности, указанному в табл. 19.

3. При расчете припусков под шлифование после термообработки T из расчетной формулы исключить.

20. Точность и качество поверхности заготовок, получаемых литьем в песчаные формы (машинная формовка)

Размер отливки, мм	$R_z + T$ (в мкм) для классов точности заготовок					
	1			2		
	Материал заготовки					
	Чугун	Сталь	Цветные металлы и сплавы	Чугун	Сталь	Цветные металлы и сплавы
До 1250	600	500	400	800	600	500
Св. 1250 до 3150	800	700	—	1000	800	—

Примечание. По ГОСТу 1-й класс соответствует массовому производству; 2-й класс — серийному.

21. Точность и качество заготовок, получаемые специальными способами литья

Способ литья	Класс точности	Класс шероховатости поверхности	Качество поверхности			
			R_z , мкм	T , мкм		
				Материал заготовки		
				Чугун	Сталь	Цветные металлы и сплавы
В кокиль	7—8	1	200	300	200	100
Центрбежное	7—8	1	200	300	200	100
В оболочковые формы для элементов, получаемых: в одной полуформе	4—5	4	40	260	160	100
в обеих полуформах	7	4	40	260	160	100
Под давлением	4—5	5—6	50	—	—	100
По выплавляемым моделям	4—5	4—6	30	170	100	60

22. Пространственные погрешности отливок

Детали	Удельное коробление отливок (в мкм) на 1 мм длины	<p>Примечания: 1. Суммарное значение пространственных отклонений следует определять по формулам при базировании отливок на отверстие $\rho = \sqrt{\rho_{кор}^2 + \rho_{см}^2}$ и на плоскость $\rho = \rho_{кор} = \Delta_k L$, где $\rho_{кор}$ — коробление отливки и $\rho_{см}$ — смещение стержня, мм; Δ_k — удельная величина коробления, мкм/мм (см табл 22); L — наибольший размер заготовки, мм;</p> <p>2. Смещение стержней $\rho_{см}$, образующих отверстие или внутренние полости, следует принимать равной допуску на наибольший размер от оси отверстия или внутренней полости до измерительной базы с учетом наибольших размеров отливки по ГОСТ 1855—55 или 2009—55;</p> <p>3. При обработке черного отверстия от координированной с ним базовой поверхности значение $\rho_{см}$ должно быть учтено в припуске на обработку отверстия.</p>
Корпусные	0,7—1	
Плиты	2—3	

23. Точность и качество поверхности после механической обработки отливок

Отливки, получаемые в песчаных формах				
Способ обработки	Класс точности	Класс шероховатости поверхности	Качество поверхности	
			R_z	T
			мкм	
Отливки 1-го класса точности				
Точение, фрезерование, строгание: однократное	Б—4	4—6	30	30
черновое	Б	3	50	50
чистовое	4—3а	4—6	25	25
тонкое	3—2а	7—8	—	—
Шлифование: однократное	2а	7	—	—
черновое	3	6	10	20
чистовое	2а—2	7—8	5	15
тонкое	2—1	8—10	—	—
Отливки 2-го класса точности				
Точение, фрезерование, строгание: черновое	7	2	100	100
получистовое	5	3	50	50
чистовое	4—3а	4—6	25	25
тонкое	3—2а	7—8	—	—
Шлифование: однократное	2а	7	—	—
черновое	3	6	10	20
чистовое	2а—2	7—8	5	15
тонкое	2—1	8—10	—	—

Продолжение табл. 23

Отливки, полученные специальными способами литья												
Способ обработки	Способ литья											
	в кокиль и центробежное				в оболочковые формы				по выплавляемой модели и под давлением			
	Класс точности	Класс шероховатости поверхности	Качество поверхности		Класс точности	Класс шероховатости поверхности	Качество поверхности		Класс точности	Класс шероховатости поверхности	Качество поверхности	
			R_z	T			R_z	T			R_z	T
		мкм				мкм				мкм		
Точение, фрезерование, строгание; однократное	4	4—6	25	25	4—3а	4—5	25	25	3а	5—7	15	20
черновое	5	3	50	50	4	5	20	20	—	—	—	—
чистовое	3а	4—6	20	20	3а	6	10	10	—	—	—	—
тонкое	3—2а	7—8	—	—	3—2а	7—8	—	—	3—2а	7—8	—	—
Шлифование; однократное	2а	7	—	—	2а	7	—	—	2а	7	—	—
черновое	3	6	10	20	3	6	10	20	3	6	10	20
чистовое	2а—2	7—8	5	15	2а—2	7—8	5	15	2а—2	7—8	5	15
тонкое	2—1	8—10	—	—	2—1	8—10	—	—	2—1	8—10	—	—
<p>Примечания: 1. Для серого и ковкого чугуна и цветных металлов и сплавов после первого технологического перехода, а также после термообработки для стали при расчете T из формулы исключать.</p> <p>2. При несопадении установочной и измерительной баз допуска (классы точности) следует принимать согласно п. 1 примечания к табл. 19.</p> <p>3. При выдерживании размера от черной базы допуск следует принимать согласно п. 2 примечания к табл. 19.</p> <p>4. Остаточное коробление после первого технологического перехода механической обработки следует рассчитывать по точной или приближенной формуле (см. табл. 30).</p>												

24. Механическая обработка отверстий

Способ обработки	Диаметр отверстия, мм	Класс точности	Класс шероховатости поверхности	Качество поверхности	
				R_z	T
				мкм	
Сверление: обычное спиральными сверлами	От 3 до 6	Б	5	20	40
	Св. 6 до 10		4	30	50
	От 10 до 18		4	40	60
	Св. 18 до 50		3	50	70
глубокое специальными сверлами	От 3 до 10	Б	5	15	25
	Св. 10 до 18		4	20	30
	Св. 18 до 30			30	40
Зенкерование; черновое	От 18 до 30	Б	3	50	40
	Св. 30 до 80			50	50
однократное	До 80	4	4—5	—	—
чистовое	До 30	4—3а	4—5	30	30
	Св. 30 до 80			30	40
Растачивание; черновое	От 50 до 260	5	3	50	50
чистовое	От 50 до 180	3а	5	20	25
	Св. 180 до 260	3а	5	20	15
Развертывание: нормальное	От 6 до 80	3а	6	10	20
точное	От 6 до 80	2а	7	5	10
тонкое	От 6 до 80	2	8	3	—
Шлифование	До 80	3—2	7—8	—	—
Протягивание	От 10 до 80	2а	7	4	6
Калибрование шариком или оправкой	От 6 до 80	2	10	0,6	—
Притирочное шлифование (хонингование)	До 80	1—2	9—12	—	—

Примечания: 1. Под черновым зенкерованием следует понимать обработку по черному литому или пролитому при штамповке отверстию; под чистовым — обработку после сверления или черного зенкерования.
2. Виды развертывания (нормальное, точное и тонкое) характеризуются допусками на диаметры разверток.

25. Пространственные погрешности просверленных отверстий

Погрешности	Сверла								
	спиральные				специальные				
	Диаметр отверстия, мм								
	3-6	6-10	10-18	18-30	30-50	3-6	6-10	10-18	18-30
Удельный увод оси отверстия Δ_y (в мкм) на 1 мм длины	2,1	1,7	1,3	0,9	0,7	1,6	1,3	1,0	0,7
Смещение оси отверстия, мкм	10	15	20	25	30	10	15	20	25

Примечания: 1. Суммарное значение пространственных отклонений после сверления $\rho = \sqrt{(\Delta_y l)^2 + c_0^2}$, где c_0 — смещение ось отверстия (см. табл. 25); Δ_y — удельное значение увода оси отверстия (см. табл. 25); l — длина отверстия в мм.

2. Основным видом пространственной погрешности:
а) для литого отверстия является смещение стержня $\rho_{см}$, образующего его (определение смещения см. п. 2 примечания к табл. 22);
б) для пролитого отверстия — эксцентricность его относительно наружной поверхности $\rho_{экс}$ (величину эксцентricности см. табл. 13).

3. Смещение оси отверстия после черновой обработки следует определять по формуле $\rho_{ост} = K_y \rho_{экс}$, где K_y — коэффициент уточнения; после черновой обработки $K_y = 0,05$; полустистой $K_y = 0,005$, чистой $K_y = 0,002$

Указания к расчету припусков и предельных размеров при изготовлении заготовок обработкой давлением. Ш т а м п о в к а. Общие припуски и размеры черной заготовки, полученные в результате расчета, не учитывают специфики технологии изготовления штампованных заготовок: уклонов, технологических напусков, предусматриваемых для крепления заготовок при термообработке или изготовления образцов для физико-механических испытаний, а также напусков, упрощающих конфигурацию заготовки или сглаживающих местные углубления, переходы и уступы. Их задают от номинальных размеров черной заготовки, определенным расчетом.

Принимая радиусы закруглений или размеры фаски в соответствии с размерными соотношениями заготовки, при необходимости следует скорректировать припуски на обработку исходя из оптимального соотношения $r_d \geq r'_3 - z_{ном}$, где r_d и r'_3 — радиусы закругления или размеры фаски соответственно у обработанной детали и заготовки; $z_{ном}$ — номинальный припуск на обработку, рассчитанный по формулам (10) — (13). При несоблюдении оптимального соотношения целесообразно увеличить радиус закругления или размер фаски r_d обработанной детали; если по конструктивным соображениям этого сделать нельзя, то корректируют величину минимального припуска к z_{min} , при этом $z'_{min} \geq r_3 - r_d + H_d - H_3$, где H_d и H_3 — нижнее отклонение по размеру соответственно обработанной детали и заготовки.

Допуски на детали, изготавливаемые горячей объемной штамповкой из черных металлов на молотах, прессах и горизонтально-ковочных машинах, приведены в ГОСТ 7505—74 (табл. 48—49). Данные для расчета припусков при обработке наружных и торцовых поверхностей штампованных заготовок приведены в табл. 11—13 и 19, при обработке отверстий — табл. 24 и 25.

Ковка на вертикальных радиально-ковочных машинах. Данные для расчета припусков на обработку поковок приведены в табл. 14—17 и 19.

Штамповка на ковочно-штамповочных прессах методом выдавливания. Данные для расчета припусков на обработку поковок типа клапанов приведены в табл. 18—19.

Указания к расчету припусков и предельных размеров при изготовлении заготовок из отливок. Общие припуски и размеры черной заготовки, полученные в результате расчета, должны быть скорректированы с учетом следующих дополнений табл. 20—23):

напусков, упрощающих конфигурацию заготовки и сглаживающих местные углубления, переходы и уступы;

дополнительных припусков на верхние, по положению при заливке, поверхности в соответствии с ГОСТ 1855—55 для отливок из серого чугуна или ГОСТ 2009—55 для отливок из стали;

радиусов галтелей и переходы при изменении сечений отливок, внося соответствующие конструктивные изменения в элементы детали или корректируя расчетные припуски, увеличивая их по сопрягаемым поверхностям до величины, обеспечивающей необходимый минимальный припуск на угол;

номинальных размеров заготовки и их отклонения, так как модели изготовляют исходя из номинальных размеров. От номинальных размеров заготовки указывают формовочные уклоны и учитывают усадку материала отливки. Номинальные размеры определяют по предельным размерам.

Указания к расчету припусков и предельных размеров отверстий, получаемых обработкой. Данные по точности диаметров отверстий и качеству поверхности, получаемые после обработки различными способами, независимо от класса детали и метода получения заготовки приведены в табл. 24—25. При обработке отверстий мерным инструментом (сверло, зенкер, развертка, протяжка, фреза и т. п.) принимают ближайший по сортаменту диаметр инструмента, наименьший предельный размер которого должен быть не менее $D_{з\text{ мин}}$, полученного расчетом.

В табл. 26 приведены данные для расчета припусков после электроимпульсной обработки.

26. Качество поверхности заготовок после электроимпульсной обработки

Высота микронеровностей $R_z = c \left(\frac{I_{cp} U_{sm}}{f} \right)^p$ мкм, где I_{cp} — рабочий ток, А; U_{sm} — напряжение на рабочем промежутке, В; f — частота следования импульсов, с; c и p — коэффициенты.	Материал		c	p						
	Углеродистые и штамповые стали	190	0,35							
Жаропрочные сплавы	205	0,38								
Твердые сплавы	67	0,38								
<i>Глубина структурных превращений</i>										
Частота импульсов, с	Величина T (в мм) при среднем токе I_{cp} , А									
	1	3	7	10	15	20	50	100	200	300
50	—	—	—	0,20	0,30	0,35	0,42	0,47	0,52	0,63
100	—	—	—	0,15	0,17	0,20	0,25	0,31	0,36	0,54

Продолжение табл. 26

Частота импульсов, с	Величина T (в мм) при среднем токе I_{cp} , А									
	1	3	7	10	15	20	50	100	200	300
400	—	—	—	0,06	0,10	0,15	0,20	0,23	0,26	0,30
7 000	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	—	—	—	—	—
22 000	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	—	—	—	—	—

Примечания: 1. При расчете припусков на доводку поверхности после ее электроимпульсной обработки на мягких режимах $I_{cp} = 4-5$ А, когда измененный структурный слой не ухудшает качества поверхности; T из расчетной формулы исключать.

2. Значения пространственных погрешностей см. в табл. 6 и 13.

3. При определении припуска на проход, выполняемый на электроимпульсном станке путем изменения режима (по току, частота импульсов), но без перестановки детали и инструмента, пространственные отклонения ρ в формуле припуска принимать равными нулю.

Указания к расчету припусков при индивидуальном получении заданных размеров.

Асимметричный минимальный припуск при обработке плоских поверхностей следует определять по формуле

$$z_{i \min} = R_{z i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \epsilon_{B_i}$$

симметричный минимальный припуск при обработке поверхностей вращения

$$2z_{i \min} = 2(R_{z i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \epsilon_{B_i}^2}),$$

где $R_{z i-1}$, T_{i-1} и ρ_{i-1} — соответственно высота микронеровностей, глубина дефектного слоя и суммарное значение пространственных отклонений обрабатываемой элементарной поверхности заготовки на *предшествующем* переходе; ϵ_{B_i} — погрешность выверки заготовки при установке на *выполняемом* переходе.

Значения максимального и номинального припуска z_{\max} и $z_{\text{ном}}$ следует определять по формулам соответственно (8), (9) и (10)—(13). Последовательность расчета припусков на обработку и предельных размеров по технологическим переходам см. стр. 176.

Значения величин, входящих в расчетные формулы припусков на обработку, приведены в табл. 27—29. В табл. 30 даны формулы для определения остаточной кривизны.

27. Точность и качество поверхности черных заготовок

Заготовки	Наибольший поперечный или габаритный размер заготовки, мм	ГОСТ на точность размеров	Качество поверхности ($R_z + T$), мкм
Прокат горячекатаный	До 250	2590—71	0,3
Поковки, изготавливаемые ковкой	От 50 до 180	7829—70 на молотах; 7062—67 на прессах	2
	Св. 180 до 500		3
	Св. 500 до 1 250		4
	Св. 1 250 до 3 150		5
Поковки, изготавливаемые в подкладных штампах	От 50 до 180	7505—74, 3-я группа точности	1,5
	Св. 180		2,5
Отливки: ручная формовка	До 500	1855—55 для отливок из серого чугуна; 2009—55 для стальных отливок III класса точности	0,8
	Св. 500 до 1 250		0,9
	Св. 1 250 до 3 150		1,0
	Св. 3 150 до 6 300		1,5
	Св. 6 300 до 10 000		2,0
машинная формовка и центробежное литье	До 500	То же, II класс точности	0,6
	Св. 500 до 1 250		0,8
	Св. 1 250		0,9

Примечания: 1. Для верхней поверхности (по положению отливки при заливке металла) принимать $R_z + T$ в пределах 0,5—3 мм для отливок из серого чугуна и 0,5—7 мм — для отливок из стали.

2. Для элементов отливок, обращенных к оси вращения, с целью компенсации ликвационной зоны и неоднородности химического состава при центробежном литье, и для особо ответственных деталей $R_z + T$ задают в пределах 5—7,5 мм на сторону.

28. Кривизна (коробление) заготовок

Горячекатаный прокат				Поковки в виде валов, брусьев и балок			
Вид обработки	Δ_K (в мкм/мм) для проката диаметром, мм			Вид обработки	Δ_K^* (в мкм/мм) для поковок диаметром или размером сечения, мм		
	До 30	Св. 30 до 80	Св. 80		До 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180
В состоянии поставки	5						
После правки	1,0	0,8	0,5				
После термообработки	0,5	0,4	0,3				
<i>Отливки</i>							
Детали	Δ_K , мкм/мм						
Корпусные	0,7—1,0						
Плиты и диски	0,7—3,0						
				Ковка	3	2	1
				Механическая обработка:			
				обдирка	1,5	1,0	0,5
				черновая	0,7	0,5	0,3
				получистовая	0,04	0,03	0,02
				После термообработки и правки	0,7	0,6	0,5

Примечания: 1. Наибольшую кривизну заготовок из проката и черных поковок определяют по формулам для валов, плит и т. п. $\rho_K = \Delta_K l$; для дисков $\rho_K = \Delta_K D$; коробление отливок $\rho_{кор} = \Delta_{кор} l$, где Δ_K или $\Delta_{кор}$ — удельная кривизна проката и поковок и коробление отливок (см. табл. 28), l — общая длина заготовки, м; D — диаметр диска, м.

2. Эксцентricность прошитых при свободной ковке отверстий относительно наружной поверхности

$$\rho_{экс} = 0,7 (d - d_{пр}).$$

где d — диаметр обработанного отверстия; $d_{пр}$ — диаметр прошивня по ГОСТ 7062—67 (см. п. 3 табл. 36).

3. Отклонение от соосности ступеней поковок для ступенчатых валов $\rho_{ст} = 0,25\delta_D$, где δ_D — допуск на диаметральный размер смежной большей ступени, мм.

4. Погрешность центровки валов, изготавливаемых свободной ковкой по разметке $\rho_{ц} = 0,25\delta_{заг}$, где $\delta_{заг}$ — допуск на диаметральный размер наибольшей ступени черновой заготовки, мм.

5. Смещение стержней, образующих отверстия или внутренние полости отливок, принимать равными допуску на номинальный размер от оси отверстия или центра полости до измерительной базы по III классу точности ГОСТ 1855—55 для отливок из стали из серого чугуна и ГОСТ 2009—55 для отливок.

6. Суммарное значение пространственных отклонений для ступенчатых валов при обработке:

$$\text{в центрах } \rho = \sqrt{\rho_K^2 + \rho_{ц}^2},$$

$$\text{в патроне } \rho = \sqrt{\rho_K^2 + \rho_{ст}^2}.$$

7. Величину остаточной пространственной погрешности определять в соответствии с примечанием к табл. 7, 13 или 23.

29. Точность и качество поверхности заготовок после механической обработки

Заготовка	Механическая обработка	Класс точности	Класс шероховатости поверхности	Качество поверхности	
				R_z	T
				мкм	
Горячекатаный прокат	Черновая	5—7	2—3	120	120
	Получистовая	5—4	3—5	60	60
	Чистовая	4—3а	5	30	30
Поковка	Обдирка	10—11	—	1150	350
	Черновая	9—8	1—2	240	240
	Получистовая	7—5	2—3	120	120
	Чистовая	4—3а	4—5	40	40
Отливка	Обдирка	10—9	1	320	320
	Черновая	8—7	1—2	240	240
	Получистовая	7—5	2—4	100	100
	Чистовая	4—3а	5—6	20	20
Заготовки всех видов	Тонкая обработка	3—2а	7—8	—	—
	Шлифование: обдирочное	8—7	5	20	20
	черновое	3а	6	10	10
	однократное	3—2а	6—7	—	—
	чистовое	2—2а	7—8	5	5
	тонкое	2—1	8—10		

Примечания: 1. При обработке заготовок из серого чугуна после первого перехода механической обработки, а также при обработке заготовок из стали после термообработки T из формулы исключить.

2. При выдерживании размера от черных измерительных баз допуск определять по формуле, приведенной в табл. 19.

3. Обдирочное шлифование применять для обработки базовых поверхностей, не подвергающихся последующей обработке.

30. Формулы для расчета остаточной погрешности после каждого прохода механической обработки

Способ обработки, поверхность и применяемое оборудование	Формулы
Шлифование наружной поверхности: на бесцентрово-шлифовальном станке	$W c_p s^{0,7} v_{\text{п}}^{0,35} d_{\text{п}}^{0,35} \rho_{\text{пр}}$
на кругло-шлифовальном станке	$W k c_p v_{\text{п}}^{0,7} s_{\text{п}}^{0,7} [t^{0,6} - (t - \rho_{\text{пр}})^{0,6}]$
Точение наружной поверхности: на токарном станке	$W c_y s^y H B^n [t^x - (t - \rho_{\text{пр}})^x]$
на токарных автоматах и револьверных станках	$W c_y s^y H B^n [t^x - (t - \rho_{\text{пр}})^x]$
Симметричное фрезерование плоскости на вертикально-фрезерном станке	$0,5 W c t^x s_z^y z D^{-q} [B^2 - (B - \rho_{\text{пр}})^2]$

Примечания: 1. W — податливость станка или системы станок—заготовка—инструмент, мм/кг (см. гл. I, стр. 77); c_p — коэффициент, характеризующий условия резания при шлифовании (при бесцентровом шлифовании заготовок из стали 45 кругами Э46С2К5 непрерывным потоком $c_p = 12,28$; единичными заготовками $c_p = 10,5$; при наружном круглом шлифовании кругом Э46СМК5 шириной 40 мм при обработке стали $c_p = 2,15$ и чугуна $c_p = 2,00$); k — коэффициент, характеризующий состояние шлифовального круга (при остром круге 1,5 и затупленном 3,0); v_y — коэффициент, характеризующий условия работы резания; t — глубина резания, мм; s_z — подача, мм/зуб; s — подача, мм/об; $s_{\text{п}}$ — продольная подача, мм/об; $v_{\text{п}}$ — окружная скорость заготовки, м/мин; $d_{\text{п}}$ — диаметр обрабатываемой заготовки, мм; B — ширина фрезерования, мм; $H B$ — твердость обрабатываемого материала по Бринелю; D — диаметр фрезы, мм; $\rho_{\text{пр}}$ — исходная кривизна заготовки для первого перехода механической обработки, мм; для последующих переходов — остаточная кривизна заготовки после предшествующего перехода, мм; x, y, n, q и z — показатели степеней.

2. Величину остаточной кривизны $\rho_{\text{ост}}$ после выполненного перехода обработки можно также находить по приближенной формуле $\rho_{\text{ост}} = k_y \rho_{\text{заг}}$, где $\rho_{\text{заг}}$ — кривизна заготовки; k_y — коэффициент уточнения (см. табл. 31).

31. Значения k_y по технологическим переходам

Заготовка	Технологический переход	k_y	Заготовка	Технологический переход	k_y
Калиброванный прокат	После обтачивания: однократного	0,05	Горячекатаный прокат, штамповка, отливка	После обтачивания: черногого и однократного	0,06
	двукратного	0,02		получистового	0,05
	После шлифования: черногого	0,06			чистового
	чистового	0,04			

ТАБЛИЧНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ОБЩИХ ПРИПУСКОВ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ

Общим припуском называют слой материала, необходимый для компенсации погрешностей при выполнении всей совокупности технологических переходов, т. е. всего процесса изготовления данной элементарной поверхности от черной заготовки до готовой детали. Общий припуск определяется разностью размеров черной заготовки и готовой детали.

Отливки. Припуски на механическую обработку отливок и допуски на их изготовление регламентируются ГОСТами (табл. 31 и 32).

Общие положения. 1. Стандартом предусматриваются два класса точности заготовок. Допускаются различные классы точности для разных размеров одной и той же отливки;

2. Допускается уменьшение табличных припусков на механическую обработку до минимально необходимых;

3. Припуски, компенсирующие коробление, сглаживающие местные углубления, выступы, а также напуски, создающие направленное затвердевание металла, задают дополнительно к табличным от номинальных размеров заготовки;

4. На механическую обработку литых отверстий принимают табличные припуски верха или низа, независимо от расположения отверстия;

5. Под номинальным размером понимают наибольшее расстояние между противоположными обрабатываемыми поверхностями или расстояние от базовой поверхности или оси до обрабатываемой поверхности.

Припуски на механическую обработку отливок из цветных металлов и сплавов могут быть рассчитаны по данным табл. 20—25. Их определяют от наименьшего предельного размера для наружных поверхностей и от наибольшего предельного размера для внутренних поверхностей.

Поковки, получаемые свободной ковкой. Припуски и допуски на поковки из углеродистой и легированной стали, изготавливаемые свободной ковкой на прессах (ГОСТ 7062—67), приведены в табл. 33—38.

Общие положения. Данный ГОСТ регламентирует номинальные припуски. Они назначаются на номинальные размеры, указанные в чертеже, или на номинальные размеры ободранной заготовки после термообработки, указанные в технологическом чертеже. Припуски на образцы для механических испытаний, на захваты для подвешивания поковок при термообработке, а также другие специальные припуски устанавливаются сверх указанных в зависимости от требований производства.

ГОСТом регламентируются две группы точности поковок: I — повышенной и II — нормальной точности. Группа точности устанавливается по договоренности с поставщиком.

На поковки II группы точности из слитков массой менее 6 т из сталей Ст3—Ст6, сталей 15—50, а также из легированных сталей некоторых марок табличные припуски уменьшают на 10% без изменения допуска на изготовление. ГОСТ распространяется на поковки общего назначения массой до 35 т для условий единичного и мелкосерийного производства.

Припуски и допуски на поковки из углеродистой и легированной стали, изготавливаемые ковкой на молотах (ГОСТ 7829—70), приведены в табл. 39—46.

Общие положения. 1. Для деталей, обрабатываемых с одной стороны, табличные значения припусков принимают с коэффициентом 0,5 без изменения допуска;

2. При ковке из неободранного слитка допускается увеличение табличного допуска на величину не более 20%;

3. По согласованию с заказчиком возможно ужесточение припусков и допусков.

31. Припуски и допуски (\pm) на литые заготовки из серого чугуна (ГОСТ 1855—55), мм

Наибольший габаритный размер детали, мм	Положение поверхности при заливке	Номинальный размер, мм																				
		До 50	50—120	120—260	260—500	500—800	800—1250	1250—2000	2000—3150	3150—5000	5000—6300	6300—10 000										
До 120	Верх	$2,5 \pm 0,2$	$2,5 \pm 0,3$																			
	Низ, бок	$2,0 \pm 0,2$	$2,0 \pm 0,3$																			
Св. 120 до 260	Верх	$2,5 \pm 0,3$	$3,0 \pm 0,4$	$3,0 \pm 0,6$																		
	Низ, бок	$2,0 \pm 0,3$	$2,5 \pm 0,4$	$2,5 \pm 0,6$																		
Св. 260 до 500	Верх	$3,5 \pm 0,4$	$3,5 \pm 0,6$	$4,0 \pm 0,8$	$4,5 \pm 1,0$																	
	Низ, бок	$2,5 \pm 0,4$	$3,0 \pm 0,6$	$3,5 \pm 0,8$	$3,5 \pm 1,0$																	
Св. 500 до 800	Верх	$4,5 \pm 0,6$	$4,5 \pm 0,8$	$5,0 \pm 1,0$	$5,5 \pm 1,2$	$5,5 \pm 1,4$																
	Низ, бок	$3,5 \pm 0,6$	$3,5 \pm 0,8$	$4,0 \pm 1,0$	$4,5 \pm 1,2$	$4,5 \pm 1,4$																
Св. 800 до 1250	Верх	$5,0 \pm 0,6$	$5,0 \pm 0,8$	$6,0 \pm 1,0$	$6,5 \pm 1,2$	$7,0 \pm 1,4$	$7,0 \pm 1,6$															
	Низ, бок	$3,5 \pm 0,6$	$4,0 \pm 0,8$	$4,5 \pm 1,0$	$4,5 \pm 1,2$	$5,0 \pm 1,4$	$5,0 \pm 1,6$															
Св. 1250 до 2000	Верх	$5,5 \pm 0,8$	$6,0 \pm 1,0$	$6,5 \pm 1,2$	$7,0 \pm 1,4$	$7,0 \pm 1,6$	$7,5 \pm 2,0$	$8,0 \pm 2,5$														
	Низ, бок	$4,0 \pm 0,8$	$4,5 \pm 1,0$	$4,5 \pm 1,2$	$5,0 \pm 1,4$	$5,0 \pm 1,6$	$5,5 \pm 2,0$	$6,0 \pm 2,5$														

I класс точности

II класс точности											
Св. 2000 до 3150	Верх	6,0±0,8	6,5±1,0	6,5±1,2	7,5±1,4	8,0±1,6	8,5±2,0	9,0±2,5	9,5±3,0		
	Низ, бок	4,0±0,8	4,5±1,0	4,5±1,2	5,0±1,4	5,5±1,6	6,0±2,0	6,5±2,5	6,5±3,0		
Св. 3150 до 5000	Верх	6,0±1,0	6,5±1,2	7,0±1,5	7,5±1,8	8,0±2,0	9,0±2,5	9,5±3,0	10±4,0	11±5,0	
	Низ, бок	4,5±1,0	5,0±1,2	5,0±1,5	5,5±1,8	6,0±2,0	6,5±2,5	7,0±3,0	7,5±4,0	7,5±5,0	
До 120	Верх	3,5±0,5	4,0±0,8								
	Низ, бок	2,5±0,5	3,0±0,8								
Св. 120 до 260	Верх	4,0±0,5	4,5±0,8	5,0±1,0							
	Низ, бок	3,0±0,5	3,5±0,8	4,0±1,0							
Св. 260 до 500	Верх	4,5±0,8	5,0±1,0	6,0±1,2	6,5±1,5						
	Низ, бок	3,5±0,8	4,0±1,0	4,5±1,2	5,0±1,5						
Св. 500 до 800	Верх	5,0±1,0	6,0±1,2	6,5±1,5	7,0±2,0	7,5±2,5					
	Низ, бок	4,0±1,0	4,5±1,2	4,5±1,5	5,0±2,0	5,5±2,5					
Св. 800 до 1250	Верх	6,0±1,0	7,0±1,2	7,0±1,5	7,5±2,0	8,0±2,5	8,5±3,0				
	Низ, бок	4,0±1,0	5,0±1,2	5,0±1,5	5,5±2,0	5,5±2,5	6,5±3,0				
Св. 1250 до 2000	Верх	7,0±1,2	7,5±1,5	8,0±2,0	8,0±2,5	9,0±3,0	9,0±4,0	10±5,0			
	Низ, бок	4,5±1,2	5,0±1,5	5,5±2,0	6,0±2,5	6,5±3,0	6,5±4,0	7,5±5,0			

Продолжение табл. 31

Наибольший габаритный размер детали, мм	Положе- ние поверх- ности при заливке	Номинальный размер, мм									
		До 50	50—120	120—260	260—500	500—800	800—1250	1250— 2000	2000— 3150	3150— 5000	5000— 6300
Св. 2000 до 3150	Верх	$7,0 \pm 1,2$	$7,5 \pm 1,5$	$8,0 \pm 2,0$	$8,5 \pm 2,5$	$9,0 \pm 3,0$	$10 \pm 4,0$	$11 \pm 5,0$	$12 \pm 6,0$		
	Низ, бок	$5,0 \pm 1,2$	$5,0 \pm 1,5$	$5,5 \pm 2,0$	$6,0 \pm 2,5$	$6,5 \pm 3,0$	$7,0 \pm 4,0$	$8,5 \pm 5,0$	$9,0 \pm 6,0$		
Св. 3150 до 5000	Верх	$7,5 \pm 1,5$	$7,5 \pm 1,8$	$8,0 \pm 2,2$	$8,5 \pm 3,0$	$9,0 \pm 4,0$	$10 \pm 5,0$	$11 \pm 6,0$	$12 \pm 7,0$	$13 \pm 9,0$	
	Низ, бок	$5,5 \pm 1,5$	$5,5 \pm 1,8$	$6,0 \pm 2,2$	$6,0 \pm 3,0$	$6,5 \pm 4,0$	$7,0 \pm 5,0$	$8,0 \pm 6,0$	$9,0 \pm 7,0$	$10 \pm 9,0$	
Св. 5000 до 6300	Верх	$7,5 \pm 1,5$	$8,0 \pm 1,8$	$8,5 \pm 2,2$	$9,0 \pm 3,0$	$10 \pm 4,0$	$11 \pm 5,0$	$12 \pm 6,0$	$13 \pm 7,0$	$14 \pm 9,0$	15 ± 12
	Низ, бок	$5,5 \pm 1,5$	$6,0 \pm 1,8$	$6,5 \pm 2,2$	$7,0 \pm 3,0$	$7,5 \pm 4,0$	$8,0 \pm 5,0$	$9,5 \pm 6,0$	$10 \pm 7,0$	$11 \pm 9,0$	12 ± 12
III класс точности											
До 120	Верх	$4,5 \pm 1,0$	$4,5 \pm 1,5$								
	Низ, бок	$3,5 \pm 1,0$	$3,5 \pm 1,5$								
Св. 120 до 260	Верх	$5,0 \pm 1,0$	$5,0 \pm 1,5$	$5,5 \pm 2,0$							
	Низ, бок	$4,0 \pm 1,0$	$4,0 \pm 1,5$	$4,5 \pm 2,0$							
Св. 260 до 500	Верх	$6,0 \pm 1,0$	$6 \pm 1,5$	$7 \pm 2,0$	$7 \pm 2,5$						
	Низ, бок	$4,5 \pm 1,0$	$4,5 \pm 1,5$	$5 \pm 2,0$	$6 \pm 2,5$						

32. Припуски и допуски (\pm) на фасонные стальные литые заготовки (ГОСТ 2009-55), мм

Наибольший габаритный размер детали, мм	Положе- ние поверх- ности при заливке	Номинальный размер, мм												
		До 50	50—120	120—260	260—500	500—800	800—1250	1250—2000	2000—3150	3150—5000	5000—6300	6300—10 000		
До 120	Верх	3,5±0,2	3,5±0,3											
	Низ, бок	3±0,2	3±0,3											
Св. 120 до 260	Верх	4±0,3	4±0,4	5±0,6										
	Низ, бок	3±0,3	3,0±0,4	3,5±0,6										
Св. 260 до 500	Верх	5±0,4	5±0,6	5±0,8	6±1,0									
	Низ, бок	3±0,4	3±0,6	4±0,8	4±1,0									
Св. 500 до 800	Верх	5±0,6	5±0,8	6±1,0	7±1,2		7±1,4							
	Низ, бок	4±0,6	4,0±0,8	4,5±1,0	5±1,2		5±1,4							
Св. 800 до 1250	Верх	7±0,6	7±0,8	7±1,0	8±1,2	8±1,4		8±1,6						
	Низ, бок	5±0,6	5±0,8	5±1,0	6±1,2	6±1,4		6±1,6						
Св. 1250 до 2000	Верх	8±0,8	8±1,0	8±1,2	9±1,4	9±1,6		10±2,0						
	Низ, бок	6±0,8	6±1,0	6±1,2	7±1,4	7±1,6		7±2,0						

I класс точности

Св. 2000 до 3150	Верх	9±0,8	9±1,0	9±1,2	10±1,4	10±1,6	11±2,0	12±2,5	12±3,0		
	Низ, бок	7±0,8	7±1,0	7±1,2	7±1,4	8±1,6	8±2,0	8±2,5	9±3,0		
Св. 3150 до 5000	Верх	10±1,0	10±1,2	10±1,5	11±1,8	12±2,0	12±2,5	13±3,0	13±4,0	16±5,0	
	Низ, бок	8±1,0	8±1,2	8±1,5	8±1,8	8±2,0	9±2,5	9±3,0	10±4,0	12±5,0	
II класс точности											
До 120	Верх	4±0,5	4±0,8								
	Низ, бок	4±0,5	4±0,8								
Св. 120 до 260	Верх	5±0,5	5±0,8	6±1,0							
	Низ, бок	4±0,5	4±0,8	4±1,0							
Св. 260 до 500	Верх	6±0,8	6±1,0	7±1,2	7±1,5						
	Низ, бок	5±0,8	5±1,0	5±1,2	6±1,5						
Св. 500 до 800	Верх	7±1,0	7±1,2	8±1,5	9±2,0	10±2,5					
	Низ, бок	5±1,0	5±1,2	6±1,5	6±2,0	7±2,5					
Св. 800 до 1250	Верх	8±1,0	8±1,2	9±1,5	10±2,0	10±2,5	11±3				
	Низ, бок	6±1,0	6±1,2	7±1,5	7±2,0	8±2,5	8±3				
Св. 1250 до 2000	Верх	9±1,2	9±1,5	10±2,0	10±2,5	11±3,0	12±4	13±5			
	Низ, бок	7±1,2	7±1,5	7±2,0	8±2,5	8±3,0	9±4	9±5			

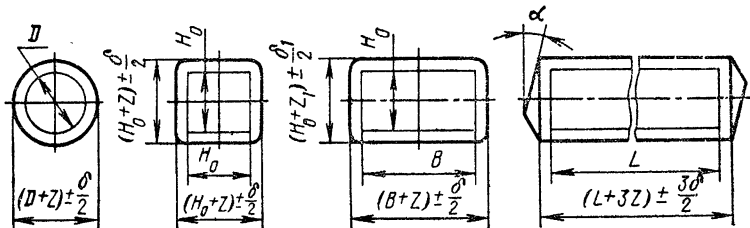
Продолжение табл. 32

Наибольший габаритный размер детали, мм	Положе- ние поверх- ности при заливке	Номинальный размер, мм									
		До 50	50—120	120—260	260—500	500—800	800—1250	1250— 2000	2000— 3150	3150— 5000	5000— 6300
Св. 2000 до 3150	Верх	10±1,2	10±1,5	11±2,0	11±2,5	12±3,0	13±4	13±5	14±6		
	Низ, бок	7±1,2	7±1,5	8±2,0	8±2,5	9±3,0	10±4	10±5	11±6		
Св. 3150 до 5000	Верх	10±1,5	10±1,8	11±2,2	12±3,0	13±4,0	13±5	13±6	14±7	16±9	
	Низ, бок	8±1,5	8±1,8	8±2,2	9±3,0	9±4,0	10±5	10±6	11±7	13±9	
Св. 5000 до 6300	Верх	12±1,5	12±1,8	13±2,2	13±3,0	14±4,0	14±5	15±6	15±7	16±9	20±12
	Низ, бок	9±1,5	9±1,8	9±2,2	10±3,0	10±4,0	11±5	11±6	12±7	14±9	16±12
— III класс точности											
До 120	Верх	5±1,0	5±1,5								
	Низ, бок	4±1,0	4±1,5								
Св. 120 до 260	Верх	5±1,0	5±1,5	6±2,0							
	Низ, бок	4±1,0	4±1,5	5±2,0							
Св. 260 до 500	Верх	6±1,0	6±1,5	8±2,0	9±2,5						
	Низ, бок	5±1,0	5±1,5	6±2,0	6±2,5						

Св. 500 до 800	Верх	7 ± 1,2	7 ± 1,8	8 ± 2,2	10 ± 3,0	11 ± 4,0					
	Низ, бок	5 ± 1,2	5 ± 1,8	6 ± 2,2	7 ± 3,0	7 ± 4,0					
Св. 800 до 1250	Верх	8 ± 1,2	8 ± 1,8	10 ± 2,2	11 ± 3,0	12 ± 4,0	13 ± 5,0				
	Низ, бок	6 ± 1,2	6 ± 1,8	7 ± 2,2	8 ± 3,0	8 ± 4,0	9 ± 5,0				
Св. 1250 до 2000	Верх	10 ± 1,5	10 ± 2,0	11 ± 2,5	12 ± 3,5	13 ± 5,0	14 ± 6,0	16 ± 7,0			
	Низ, бок	7 ± 1,5	7 ± 2,0	8 ± 2,5	9 ± 3,5	9 ± 5,0	10 ± 6,0	11 ± 7,0			
Св. 2000 до 3150	Верх	10 ± 1,5	10 ± 2,0	11 ± 2,5	13 ± 3,5	14 ± 5,0	15 ± 6,0	16 ± 7,0	17 ± 9		
	Низ, бок	8 ± 1,5	8 ± 2,0	9 ± 2,5	10 ± 3,5	10 ± 5,0	11 ± 6,0	12 ± 7,0	13 ± 9		
Св. 3150 до 5000	Верх	12 ± 1,8	12 ± 2,2	13 ± 3,0	14 ± 4,0	15 ± 5,5	16 ± 6,5	17 ± 8	18 ± 10	20 ± 12	
	Низ, бок	9 ± 1,8	9 ± 2,2	10 ± 3,0	11 ± 4,0	11 ± 5,5	12 ± 6,5	13 ± 8	14 ± 10	16 ± 12	
Св. 5000 до 6300	Верх			14 ± 3,0	15 ± 4,0	16 ± 5,5	18 ± 6,5	20 ± 8	21 ± 10	23 ± 12	25 ± 15
	Низ, бок			10 ± 3,0	11 ± 4,0	12 ± 5,5	13 ± 6,5	14 ± 8	15 ± 10	17 ± 12	20 ± 15
Св. 5 300 до 10 000	Верх				16 ± 4,5	18 ± 6,0	20 ± 7,5	22 ± 9	23 ± 11	25 ± 14	28 ± 17
	Низ, бок				12 ± 4,5	13 ± 6,0	14 ± 7,5	15 ± 9	16 ± 11	18 ± 14	22 ± 17

33. Припуски z и допуски $\pm \frac{\delta}{2}$ на гладкие сплошные поковки круглого, квадратного и прямоугольного сечений, мм (ГОСТ 7062—67)

$L \geq 1,2D$ или $L \geq 1,5H_0$ и $B \geq 1,5H_0$



Длина детали L , мм	Размеры детали D , H_0 , B , мм						
	До 160	160—200	200—250	250—315	315—400	400—500	500—630
I группа точности							
До 1 000	10 ± 3	12 ± 3	14 ± 4	16 ± 4	17 ± 4	19 ± 4	20 ± 4
1 001—1 600	12 ± 3	14 ± 4	16 ± 4	17 ± 4	19 ± 4	20 ± 4	21 ± 4
1 601—2 500	14 ± 4	16 ± 4	17 ± 4	19 ± 4	20 ± 4	21 ± 4	22 ± 4
2 501—4 000	16 ± 4	17 ± 4	19 ± 4	20 ± 4	21 ± 4	22 ± 4	23 ± 4
4 001—6 300	17 ± 4	19 ± 4	20 ± 4	21 ± 4	22 ± 4	23 ± 4	24 ± 4
Длина детали L , мм	Размеры детали D , H_0 , B , мм						
	До 140	140—160	160—180	180—200	200—225	225—250	250—280
II группа точности							
До 1 000	12 ± 4	13 ± 5	14 ± 5	15 ± 5	16 ± 6	17 ± 6	18 ± 6
1 001—1 250	13 ± 5	14 ± 5	15 ± 5	16 ± 6	17 ± 6	18 ± 6	19 ± 7
1 251—1 600	14 ± 5	15 ± 5	16 ± 6	17 ± 6	18 ± 6	19 ± 7	20 ± 7
1 601—2 000	15 ± 5	16 ± 6	17 ± 6	18 ± 6	19 ± 7	20 ± 7	21 ± 7
2 001—2 500	16 ± 6	17 ± 6	18 ± 6	19 ± 7	20 ± 7	21 ± 7	22 ± 8
2 501—3 150	17 ± 6	18 ± 6	19 ± 7	20 ± 7	21 ± 7	22 ± 8	23 ± 8
3 151—4 000	18 ± 6	19 ± 7	20 ± 7	21 ± 7	22 ± 8	23 ± 8	24 ± 8

Продолжение табл. 33

Длина детали L , мм	Размеры детали D , H_0 , B , мм						
	До 140	140—160	160—180	180—200	200—225	225—250	250—280
4 001—5 000	19 ± 7	20 ± 7	21 ± 7	22 ± 8	23 ± 8	24 ± 8	25 ± 9
5 001—6 300	20 ± 7	21 ± 7	22 ± 8	23 ± 8	24 ± 8	25 ± 9	26 ± 9
6 301—7 100	—	22 ± 8	23 ± 8	24 ± 8	25 ± 9	26 ± 9	27 ± 9
7 101—8 000	—	—	24 ± 8	25 ± 9	26 ± 9	27 ± 9	28 ± 10
8 001—9 600	—	—	—	26 ± 9	27 ± 9	28 ± 10	29 ± 10
9 001—10 000	—	—	—	—	28 ± 10	29 ± 10	30 ± 10
10 001—11 200	—	—	—	—	—	30 ± 10	31 ± 11
11 201—12 500	—	—	—	—	—	—	32 ± 11
12 501—14 000	—	—	—	—	—	—	—

Длина детали L , мм	Размеры детали D , H_0 , B , мм						
	280—315	315—355	355—400	400—450	450—500	500—560	560—630
II группа точности							
До 1 000	19 ± 7	20 ± 7	21 ± 7	22 ± 8	23 ± 8	24 ± 8	25 ± 9
1 001—1 250	20 ± 7	21 ± 7	22 ± 8	23 ± 8	24 ± 8	25 ± 9	26 ± 9
1 251—1 600	21 ± 7	22 ± 8	23 ± 8	24 ± 8	25 ± 9	26 ± 9	27 ± 9
1 601—2 000	22 ± 8	23 ± 8	24 ± 8	25 ± 9	26 ± 9	27 ± 9	28 ± 10
2 001—2 500	23 ± 8	24 ± 8	25 ± 9	26 ± 9	27 ± 9	28 ± 10	29 ± 10
2 501—3 150	24 ± 8	25 ± 9	26 ± 9	27 ± 9	28 ± 10	29 ± 10	30 ± 10
3 151—4 000	25 ± 9	26 ± 9	27 ± 9	28 ± 10	29 ± 10	30 ± 10	31 ± 11
4 001—5 000	26 ± 9	27 ± 9	28 ± 10	29 ± 10	30 ± 10	31 ± 11	32 ± 11
5 001—6 300	27 ± 9	28 ± 10	29 ± 10	30 ± 10	31 ± 11	32 ± 11	33 ± 11
6 301—7 100	28 ± 10	29 ± 10	30 ± 10	31 ± 11	32 ± 11	33 ± 11	34 ± 12

Длина детали L , мм	Размеры детали D , H_0 , B , мм							
	280—315	315—355	305—400	400—450	450—500	500—560	560—630	
7 101—8 000	29±10	30±10	31±11	32±11	33±11	34±12	35±12	
8 001—9 000	30±10	31±11	32±11	33±11	34±12	35±12	36±12	
9 001—10 000	31±11	32±11	33±11	34±12	35±12	36±12	37±13	
10 001—11 200	32±11	33±11	34±12	35±12	36±12	37±13	38±13	
11 201—12 500	33±11	34±12	35±12	36±12	37±13	38±13	39±13	
12 501—14 000	34±12	35±12	36±12	37±13	38±13	39±13	40±14	
Длина детали L , мм	Размеры детали D , H_0 , B , мм							
	630—710	710—800	800—900	900—1000	1000—1120	1120—1250	1250—1400	1400—1600
II группа точности								
До 1 000	26±9	27±9	28±10	—	—	—	—	—
1 001—1 250	27±9	28±10	29±10	30±10	—	—	—	—
1 251—1 600	28±10	29±10	30±10	31±11	—	—	—	—
1 601—2 000	29±10	30±10	31±11	32±11	33±11	—	—	—
2 001—2 500	30±10	31±11	32±11	33±11	34±12	35±12	—	—
2 501—3 150	31±11	32±11	33±11	34±12	35±12	36±12	37±13	—
3 151—4 000	32±11	33±11	34±12	35±12	36±12	37±13	38±13	39±13
4 001—5 000	33±11	34±12	35±12	36±12	37±13	38±13	39±13	40±14
5 001—6 300	34±12	35±12	36±12	37±13	38±13	39±13	40±14	—
6 301—7 100	35±12	36±12	37±13	38±13	39±13	40±14	—	—
7 101—8 000	36±12	37±13	38±13	39±13	40±14	—	—	—
8 001—9 000	37±13	38±13	39±13	40±14	—	—	—	—
9 001—10 000	38±13	39±13	40±14	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 33

Длина детали L , мм	Размеры детали D , H_0 , B , мм							
	630—710	710—800	800—900	900—1000	1000—1120	1120—1250	1250—1400	1400—1600
10 001—11 200	39 ± 13	40 ± 14	—	—	—	—	—	—
11 201—12 500	40 ± 14	—	—	—	—	—	—	—
12 501—14 000	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечания: 1. Для деталей квадратного и прямоугольного сечений припуски на размеры сечений увеличивают при длине детали до 8000 мм на 3 мм и свыше 8000 мм на 5 мм.

2. Устанавливают дополнительный припуск на поковки с уступами и выемками на диаметры всех сечений, кроме основного, в зависимости от абсолютной величины разности диаметров основного и рассматриваемого сечений детали.

3. Для валов с одним уступом основным сечением считают то сечение, для которого Dl имеет максимальное значение; для валов с двумя уступами основным считают сечение с максимальным диаметром D_1 , если $D_1 l_1 = D_2 (l_2 + l_3)$. В противном случае основным считают сечение, имеющее средний диаметр D_2 . Для валов, имеющих более двух уступов или сочетание уступов и выемок, основным считают сечение наибольшего диаметра.

4. При увеличении припусков на диаметры уступов и выемок отклонения $\pm \frac{\delta}{2}$ не изменяются.

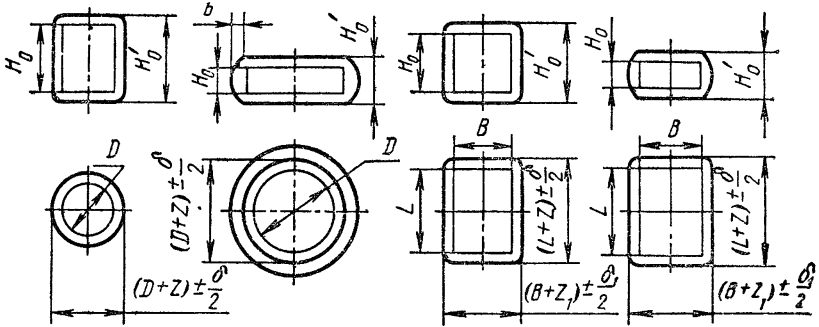
5. Ниже приведен дополнительный припуск на диаметр:

Разность диаметров, мм	Дополнительный припуск на диаметр, мм	Разность диаметров, мм	Дополнительный припуск на диаметр, мм	Разность диаметров, мм	Дополнительный припуск на диаметр, мм
До 56	2	316—355	13	601—630	23
57—80	3	356—400	14	631—670	24
81—112	4	401—425	15	671—710	25
113—140	5	426—450	16	711—750	27
141—180	7	451—475	17	751—800	29
181—224	8	476—500	18	801—850	30
225—250	9	501—530	19	851—900	32
251—280	10	531—560	20	901—950	34
281—315	12	561—600	22	951—1000	36

34. Припуски z и допуски $\pm \frac{\delta}{2}$ на сплошные цилиндры, диски, бруски и пластины, мм

$$H_4 \leq 1,2D \text{ или } H_0 < 1,2B, L \geq 1,5B \text{ и } L \geq 2,5H_0$$

$$H'_0 = (H_0 + z) \pm \frac{\delta}{2}$$



Высота H_0 , мм	Размеры детали D, B, L , мм							
	200—250	250—315	315—355	355—400	400—450	450—500	500—560	560—630

I группа точности

125—160	11 ± 3	12 ± 3	13 ± 3	14 ± 3	15 ± 4	16 ± 4	17 ± 4	18 ± 4
161—200	12 ± 3	13 ± 3	14 ± 4	15 ± 4	16 ± 4	17 ± 4	18 ± 4	19 ± 4
201—250	13 ± 3	14 ± 3	15 ± 4	16 ± 4	17 ± 4	18 ± 4	19 ± 4	20 ± 5
251—315	14 ± 3	15 ± 4	16 ± 4	17 ± 4	18 ± 4	19 ± 4	20 ± 5	21 ± 5
316—400	—	16 ± 4	17 ± 4	18 ± 4	19 ± 4	20 ± 5	21 ± 5	22 ± 5
401—500	—	—	—	19 ± 4	20 ± 5	21 ± 5	22 ± 5	23 ± 5
501—630	—	—	—	—	—	22 ± 5	23 ± 5	24 ± 5

II группа точности

Высота H_0 , мм	Размеры детали D, B, L , мм							
	200—225	225—250	250—280	280—315	315—355	355—400	400—450	450—500
125—160	15 ± 6	16 ± 6	17 ± 7	18 ± 7	19 ± 7	20 ± 8	21 ± 8	22 ± 9
161—200	16 ± 6	17 ± 7	18 ± 7	19 ± 7	20 ± 8	21 ± 8	22 ± 9	23 ± 9

Продолжение табл. 34

Высота H_0 , мм	Размеры детали D, B, L , мм							
	200—225	225—250	250—280	280—315	315—355	355—400	400—450	450—500
201—250	17 ±7	18 ±7	19 ±7	20 ±8	21 ±8	22 ±9	23 ±9	24 ±10
251—315	18 ±7	19 ±7	20 ±8	21 ±8	22 ±9	23 ±9	24 ±10	25 ±10
316—400	—	—	21 ±8	22 ±9	23 ±9	24 ±10	25 ±10	26 ±11
401—500	—	—	—	—	24 ±10	25 ±10	26 ±11	27 ±11
501—630	—	—	—	—	—	—	27 ±11	28 ±11
631—800	—	—	—	—	—	—	—	—
801—1000	—	—	—	—	—	—	—	—

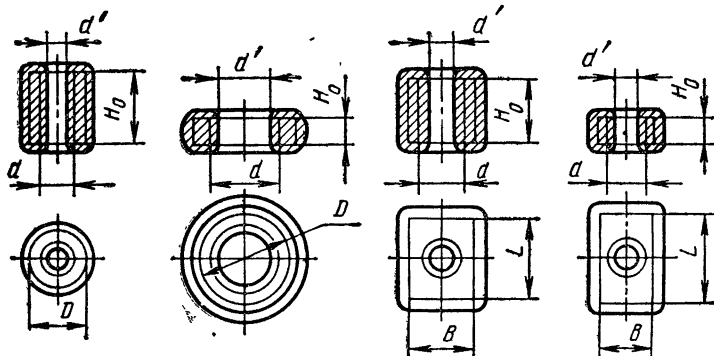
Высота H_0 , мм	Размеры детали D, B, L , мм						
	500—560	560—630	630—710	710—800	800—900	900—1000	1000—1120
125—160	23 ±9	24 ±10	—	—	—	—	—
161—200	24 ±10	25 ±10	26 ±11	—	—	—	—
201—250	25 ±10	26 ±11	27 ±11	28 ±11	—	—	—
251—315	26 ±11	27 ±11	28 ±11	29 ±12	30 ±12	31 ±13	—
316—400	27 ±11	28 ±11	29 ±12	30 ±12	31 ±13	32 ±13	33 ±14
401—500	28 ±11	29 ±12	30 ±12	31 ±13	32 ±13	33 ±14	34 ±14
501—630	29 ±12	30 ±12	31 ±13	32 ±13	33 ±14	34 ±14	—
631—800	30 ±12	31 ±13	32 ±13	33 ±14	34 ±14	—	—
801—1000	—	—	33 ±14	34 ±14	—	—	—

Примечания: 1. У прямоугольных деталей за H_0 принимают наименьший размер, а за L — наибольший размер детали.

2. На цилиндрических сплошных поковках при $\frac{D}{H_0} \geq 4$, допускается сферичность.

35. Припуски и допуски на муфты, диски, бруски и пластины с отверстиями

$$d' = (d - z) \pm 0,6 \frac{\delta}{2}$$



1. Припуски и отклонения на наружные размеры назначают в зависимости от группы точности по табл. 34.

2. Припуски на отверстия в поковках для I и II группы точности принимают одинаковыми, их определяют как разность между диаметрами отверстия и прошивня; допуск на прошиваемое отверстие принимают равным 0,6 припуска.

3. Ниже приведен диаметр прошивня

Диаметр, мм

отвер- стия d	про- шивня d_1	отвер- стия d	про- шивня d_1	отвер- стия d	про- шивня d_1	отвер- стия d	про- шивня d_1
110—120	80	159—184	125	263—288	225	367—392	325
121—131	90	185—210	150	289—314	250	393—418	350
132—142	100	211—236	175	315—340	275	419—444	375
143—158	110	237—262	200	341—366	300	445—470	400
						471—522	425

86. Припуски z и допуски $\pm \frac{\delta}{2}$ на цилиндры с отверстиями, мм

$L > 1,2D$ и $d \geq 0,5D$

I группа точности

Длина цилиндра L , мм	Наружный диаметр цилиндра D , мм									
	До 400	400— 500	500— 630	630— 710	710— 800	800— 900	900— 1000	1000— 1120	1120— 1250	
До 1000	24 ± 6	25 ± 6	26 ± 7	27 ± 7	28 ± 7	29 ± 7	—	—	—	
1001—1600	25 ± 6	26 ± 7	27 ± 7	28 ± 7	29 ± 7	30 ± 8	31 ± 8	32 ± 8	33 ± 8	33 ± 8
1601—2500	26 ± 7	27 ± 7	28 ± 7	29 ± 7	30 ± 8	31 ± 8	32 ± 8	33 ± 8	33 ± 8	34 ± 8
2501—4000	27 ± 7	28 ± 7	29 ± 7	30 ± 8	31 ± 8	32 ± 8	33 ± 8	34 ± 8	34 ± 8	35 ± 9

II группа точности

Длина цилиндра L , мм	Наружный диаметр цилиндра D , мм									
	До 400	400— 450	450— 500	500— 560	560— 630	630— 710	710— 800	800— 900	900— 1000	
До 1000	30 ± 11	31 ± 11	32 ± 13	33 ± 13	34 ± 13	35 ± 14	36 ± 14	37 ± 15	—	
1001—1250	31 ± 11	32 ± 13	33 ± 13	34 ± 13	35 ± 14	36 ± 14	37 ± 15	38 ± 15	39 ± 16	39 ± 16
1251—1600	32 ± 13	33 ± 13	34 ± 13	35 ± 14	36 ± 14	37 ± 15	38 ± 15	39 ± 16	39 ± 16	40 ± 16
1601—2000	33 ± 13	34 ± 13	35 ± 14	36 ± 14	37 ± 15	38 ± 15	39 ± 16	40 ± 16	40 ± 16	41 ± 17
2001—2500	34 ± 13	35 ± 14	36 ± 14	37 ± 15	38 ± 15	39 ± 16	40 ± 16	41 ± 17	41 ± 17	42 ± 17
2501—3150	35 ± 14	36 ± 14	37 ± 15	38 ± 15	39 ± 16	40 ± 16	41 ± 17	42 ± 17	42 ± 17	43 ± 17
3151—4000	36 ± 14	37 ± 15	38 ± 15	39 ± 16	40 ± 16	41 ± 17	42 ± 17	43 ± 17	43 ± 17	44 ± 18
4001—5000	37 ± 15	38 ± 15	39 ± 16	40 ± 16	41 ± 17	42 ± 17	43 ± 17	44 ± 18	44 ± 18	45 ± 18
5001—6300	38 ± 15	39 ± 16	40 ± 16	41 ± 17	42 ± 17	43 ± 17	44 ± 18	45 ± 18	45 ± 18	47 ± 19
6301—8000	—	—	41 ± 17	42 ± 17	43 ± 17	44 ± 18	45 ± 18	47 ± 19	47 ± 19	48 ± 20

Длина цилиндра L , мм	Наружный диаметр цилиндра D , мм									
	1000—1200	1200—1250	1250—1320	1320—1400	1400—1500	1500—1600	1600—1700	1700—1800	1800—1900	1900—2000
До 1000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1001—1250	40±16	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1251—1600	41±17	42±17	43±17	44±18	—	—	—	—	—	—
1601—2000	42±17	43±17	44±18	45±18	46±19	47±19	48±20	—	—	—
2001—2500	43±17	44±18	45±18	46±19	47±19	48±20	49±20	50±21	51±21	52±21
2501—3150	44±18	45±18	46±19	47±19	48±20	49±20	50±21	51±21	52±21	53±22
3151—4000	45±18	47±19	48±20	49±20	50±21	51±21	52±21	53±22	54±22	55±23
4001—5000	47±19	48±20	49±20	50±21	51±21	52±21	53±22	54±22	55±23	56±23
5001—6300	48±20	50±21	51±21	52±21	53±22	54±22	55±22	56±23	—	—
6301—8000	50±21	51±21	52±21	53±22	54±22	56±23	—	—	—	—

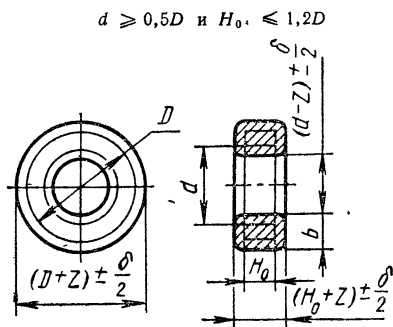
Примечания: 1. Если $\frac{L}{D} \leq 1,4$, а $D \leq 1000$ мм и вытяжка после осадки заготовки не более двухкратной, припуск на длину детали принимаем равным $4z$, а не $6z$.

2. Припуск на внутренний диаметр независимо от группы точности определяют как разность между диаметрами отверстия детали и оправки. Допускается увеличение табличного припуска на конусность оправки 1:100.

3. Ниже приведен диаметр оправки:

Диаметр, мм: отверстия	180—230	231—280	281—330	331—380	381—430	431—490	491—550	551—610	611—670
оправки	160	200	250	300	350	400	450	500	550
Диаметр, мм: отверстия	671—730	731—790	791—850	851—950	951—1050	1051—1150	1151—1250	1251—1350	1351—1450
оправки	600	650	700	750	850	950	1050	1150	1250

37. Припуски и допуски на поковки—кольца раскатанные, мм



I группа точности

Высота H_0 , мм	Наружный диаметр детали D , мм									
	До 500	500—560	560—630	630—710	710—800	800—900	900—1000	1000—1060	1060—1120	
До 200	21 ± 7	22 ± 8	23 ± 8	24 ± 9	25 ± 9	26 ± 9	27 ± 10	28 ± 10	29 ± 11	
201—236	22 ± 8	23 ± 8	24 ± 9	25 ± 9	26 ± 9	27 ± 10	28 ± 10	29 ± 11	30 ± 11	
237—280	23 ± 8	24 ± 9	25 ± 9	26 ± 9	27 ± 10	28 ± 10	29 ± 11	30 ± 11	31 ± 11	
281—335	24 ± 9	25 ± 9	26 ± 9	27 ± 10	28 ± 10	29 ± 11	30 ± 11	31 ± 11	32 ± 12	
336—400	25 ± 9	26 ± 9	27 ± 10	28 ± 10	29 ± 11	30 ± 11	31 ± 11	32 ± 12	33 ± 12	
401—475	26 ± 9	27 ± 10	28 ± 10	29 ± 11	30 ± 11	31 ± 11	32 ± 12	33 ± 12	34 ± 12	
476—560	27 ± 10	28 ± 10	29 ± 11	30 ± 11	31 ± 11	32 ± 12	33 ± 12	34 ± 12	35 ± 13	

Высота H_0 , мм	Наружный диаметр детали D , мм									
	1120—1180	1180—1250	1250—1320	1320—1400	1400—1500	1500—1600	1600—1700	1700—1830	1800—1900	1900—2000
До 200	30 ± 11	31 ± 11	32 ± 12	33 ± 12	34 ± 12	—	—	—	—	—
201—236	31 ± 11	32 ± 12	33 ± 12	34 ± 12	35 ± 13	36 ± 13	37 ± 13	38 ± 14	39 ± 14	40 ± 15
237—280	32 ± 12	33 ± 12	34 ± 12	35 ± 13	36 ± 13	37 ± 13	38 ± 14	39 ± 14	40 ± 15	41 ± 15
281—335	33 ± 12	34 ± 12	35 ± 13	36 ± 13	37 ± 13	38 ± 14	39 ± 14	40 ± 15	41 ± 15	42 ± 15
336—400	34 ± 12	35 ± 13	36 ± 13	37 ± 13	38 ± 14	39 ± 14	40 ± 15	41 ± 15	42 ± 15	43 ± 16
401—475	35 ± 13	36 ± 13	37 ± 13	38 ± 14	39 ± 14	40 ± 15	41 ± 15	42 ± 15	43 ± 16	44 ± 16
476—560	36 ± 13	37 ± 13	38 ± 14	39 ± 14	40 ± 15	41 ± 15	42 ± 15	43 ± 16	44 ± 16	45 ± 16

38. Припуски и допуски на поковки — кольца раскатанные, мм

II группа точности								
Высота H_0 , мм	Наружный диаметр детали D , мм							
	До 500	500—560	560—630	630—710	710—800	800—900	900—1000	1000—1060
До 200	24±9	25±9	26±9	27±10	28±10	29±11	30±11	31±11
201—236	25±9	26±9	27±10	28±10	29±11	30±11	31±11	32±12
237—280	26±9	27±10	28±10	29±11	30±11	31±11	32±12	33±12
281—335	27±10	28±10	29±11	30±11	31±11	32±12	33±12	34±13
336—400	28±10	29±11	30±11	31±11	32±12	33±12	35±13	36±13
401—475	29±11	30±11	31±11	32±12	33±12	35±13	36±13	37±14
476—560	30±11	31±11	32±12	33±12	34±13	36±13	37±14	38±14
561—670	31±11	32±12	33±12	34±13	35±13	37±14	39±14	40±15
671—750	—	33±12	34±13	35±13	36±13	38±14	40±15	41±15
751—900	—	—	—	37±14	38±14	40±15	42±16	43±16
901—1000	—	—	—	—	40±15	42±16	44±16	45±17

Высота H_0 , мм	Наружный диаметр детали D , мм							
	1060—1120	1120—1180	1180—1250	1250—1320	1320—1400	1400—1500	1500—1600	1600—1700
До 200	32±12	33±12	34±13	35±13	36±13	37±14	—	—
201—236	33±12	34±13	35±13	36±13	37±14	38±14	39±14	40±15
237—280	34±13	35±13	36±13	37±14	38±14	39±14	40±15	42±16
281—335	35±13	36±13	37±14	38±14	39±14	41±15	42±16	44±16
336—400	37±14	38±14	39±14	40±15	41±15	42±16	44±16	46±17
401—475	38±14	39±14	40±15	41±15	42±16	44±16	46±17	48±18
476—560	39±14	40±15	41±15	43±16	44±16	46±17	48±18	50±19
561—670	41±15	42±16	43±16	44±16	46±17	48±18	50±19	52±20
671—750	42±16	43±16	44±16	46±17	48±18	50±19	52±20	54±20
751—900	44±16	45±17	47±18	48±18	50±19	52±20	54±20	56±21
901—1000	46±17	47±18	48±18	50±19	52±20	54±20	56±21	58±22

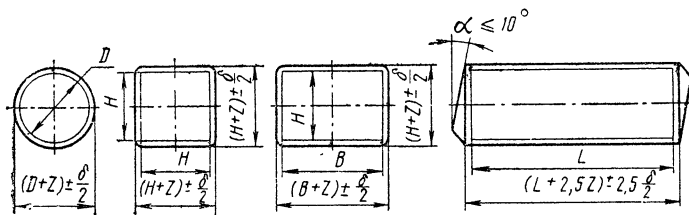
Продолжение табл. 38

Высота H_0 , мм	Наружный диаметр детали D , мм							
	1700—1800	1800—1900	1900—2000	2000—2120	2120—2240	2240—2360	2360—2500	2500—2650
До 236	41±15	43±16	45±17	47±18	49±18	51±19	53±20	—
237—280	43±16	45±17	47±18	49±18	51±19	53±20	55±21	57±21
281—335	45±17	47±18	49±18	51±19	53±20	55±21	57±21	59±22
336—400	47±18	49±18	51±19	53±20	55±21	57±21	59±22	61±23
401—475	49±18	51±19	53±20	55±21	57±21	59±22	61±23	63±24
476—560	51±19	53±20	55±21	57±21	59±22	61±23	63±24	65±25
561—670	53±20	55±21	57±21	59±22	61±23	63±24	65±25	68±26
671—750	55±21	57±21	59±22	61±23	63±24	65±25	68±26	71±27
751—900	57±21	59±22	61±23	63±24	65±25	68±26	71±27	74±28
901—1000	60±23	62±23	64±24	66±25	68±26	71±27	74±28	77±29

Высота H_0 , мм	Наружный диаметр детали D , мм						
	2650—2800	2800—3000	3000—3150	3150—3350	3350—3550	3550—3750	3750—4000
До 280	58±22	61±23	63±24	65±25	—	—	—
281—335	61±23	63±24	65±25	67±25	69±26	71±27	74±28
336—400	63±24	65±25	67±25	69±26	71±27	74±28	77±29
401—475	65±25	67±25	69±26	71±27	74±28	77±29	80±30
476—560	67±25	69±26	72±27	75±28	78±30	80±30	—
561—670	71±27	74±28	77±29	80±30	—	—	—
671—750	74±28	77±29	80±30	—	—	—	—
751—900	77±29	80±30	—	—	—	—	—
901—1000	80±30	—	—	—	—	—	—

Примечание. При $D \leq 3000$ мм толщина поковки $B = \frac{D-d}{2} + z \geq 0,054D$. При $B < 0,054D$ назначают напуск, чтобы $B = 0,054D$. При $D > 3000$ мм $B \geq 165$ мм.

39. Припуски и допуски на гладкие поковки круглого, квадратного и прямоугольного сечений, мм (ГОСТ 7829—70)



Длина детали L , мм	Диаметр дегаля D или размер сечения B , H , мм								
	До 50	50—70	70—90	90—120	120—160	160—200	200—250	250—300	300—360
До 250	5 ± 2	6 ± 2	7 ± 2	8 ± 3	9 ± 3	—	—	—	—
Св. 250 до 500	6 ± 2	7 ± 2	8 ± 2	9 ± 3	10 ± 3	11 ± 3	12 ± 3	13 ± 4	14 ± 4
Св. 500 до 800	7 ± 2	8 ± 2	9 ± 3	10 ± 3	11 ± 3	12 ± 3	13 ± 4	14 ± 4	15 ± 4
Св. 800 до 1200	8 ± 2	9 ± 3	10 ± 3	11 ± 3	12 ± 3	13 ± 4	14 ± 4	15 ± 4	16 ± 4
Св. 1200 до 1700	—	10 ± 3	11 ± 3	12 ± 4	13 ± 4	14 ± 4	15 ± 4	16 ± 5	17 ± 5
Св. 1700 до 2300	—	11 ± 3	12 ± 3	13 ± 4	14 ± 4	15 ± 4	16 ± 5	17 ± 5	18 ± 5
Св. 2300 до 3000	—	—	13 ± 4	14 ± 4	15 ± 4	16 ± 5	17 ± 5	18 ± 5	19 ± 5
Св. 3000 до 4000	—	—	—	15 ± 5	16 ± 5	17 ± 5	18 ± 5	19 ± 5	20 ± 6
Св. 4000 до 5000	—	—	—	16 ± 5	17 ± 5	18 ± 5	19 ± 5	20 ± 6	21 ± 6
Св. 5000 до 6000	—	—	—	—	18 ± 5	19 ± 5	20 ± 6	21 ± 6	22 ± 6

40. Дополнительный припуск на несоосность, мм

Разность диаметров (размеров) наибольшего и рассматриваемого сечений	Дополнительный припуск на диаметр (размер) $S_1; S_2; S_3...$	Разность диаметров (размеров) наибольшего и рассматриваемого сечений	Дополнительный припуск на диаметр (размер) $S_1; S_2; S_3...$
До 40	3	Св. 120 до 140	7
Св. 40 до 80	4	Св. 140 до 160	8
Св. 80 до 100	5	Св. 160 до 180	9
Св. 100 до 120	6	Св. 180	10

П р и м е ч а н и я: 1. Припуск на несоосность диаметров поковок следует назначать на диаметры (размеры) всех сечений, кроме основного, дополнительно к табл. 39.

2. Если поковка имеет ступень с необрабатываемой поверхностью, то за основную принимают эту ступень.

3. Если поковка не имеет ступеней с необрабатываемой поверхностью, то рассчитывают площади продольных сечений ступеней $D_1l_1; D_2l_2; D_3l_3$ и сравнивают их с площадью продольного сечения выступа с наибольшим диаметром $D_{\max}l$; если все полученные значения меньше, чем $D_{\max}l$, то за основное сечение принимают выступ с наибольшим диаметром. Если есть значения $D_1l_1; D_2l_2$; более, чем $D_{\max}l$, то для этих значений рассчитывают величины $A_1 = S_1(D_1l_1 - D_{\max}l)$; $A_2 = S_2(D_2l_2 - D_{\max}l)$ и т. д. и за основное сечение принимают сечение с наибольшим значением A .

4. Длину уступов и выемок на чертеже указывают от одной базы, за которую принимают торец выступа наибольшего сечения, не являющийся торцом поковки.

5. Предельные отклонения на длину уступов и выступов принимают равными 1,5 отклонениям на диаметр или размер выступа наибольшего сечения.

6. Если длина между засечками перед ковкой выемки меньше ширины бойка, то допускается увеличение припуска и предельных отклонений на 10% против значений табл. 39.

Продолжение табл. 41

Диаметр детали D или размер сечения L ; B , мм	Высота детали H , мм											
	Размеры детали, на которые назначают припуски и предельные отклонения	До 50	50—65	65—80	80—100	100—125	125—150	150—180	180—215	215—250	250—300	300—360
Св. 80 до 100	H	7±2	8±2	8±2	9±2	10±3	11±3	12±3	—	—	—	—
	D ; L ; B	8±2	8±2	9±2	10±2	10±2	11±3	12±4	—	—	—	—
	d	14±2	15±2	15±2	16±2	16±2	17±3	18±4	—	—	—	—
Св. 110 до 150	H	(7±2)	8±2	8±2	9±2	10±3	11±3	12±3	13±4	14±5	—	—
	D ; L ; B	9±2	9±2	10±2	11±3	11±3	12±4	13±4	14±5	14±5	—	—
	d	15±2	16±2	16±2	17±3	17±3	18±4	19±4	20±5	20±5	—	—
Св. 150 до 200	H	7±2	8±2	8±2	9±2	10±3	11±3	12±3	13±4	14±5	15±5	—
	D ; L ; B	10±3	10±3	11±3	12±4	12±4	13±4	13±4	14±5	14±5	15±5	—
	d	16±3	17±3	17±3	18±4	18±4	19±4	19±4	20±5	21±5	22±5	—
Св. 200 до 250	H	8±3	9±3	9±3	10±3	11±4	12±4	13±4	14±5	15±6	17±6	—
	D ; L ; B	11±3	11±3	12±3	13±4	13±4	14±4	14±4	15±5	16±6	17±6	18±6
	d	17±3	18±3	18±3	19±4	19±4	20±4	20±4	21±5	22±6	23±6	24±6

*

67064,49

Продолжение табл. 41

Диаметр детали D или размер сечения $L; B$, мм	Размеры детали, на которые назначают припуски и предельные отклонения	Высота детали H , мм										
		До 50	50—65	65—80	80—100	100—125	125—150	150—180	180—215	215—255	250—300	300—360
Св. 250 до 300	H	9±3	10±3	10±3	11±3	12±4	13±4	14±4	15±5	16±6	17±6	18±6
	$D; L; B$	12±4	12±4	13±4	14±5	14±5	15±5	16±6	17±7	18±7	19±7	19±7
	d	18±4	19±4	19±4	20±5	20±5	21±5	22±6	23±7	24±7	25±7	25±7
Св. 300 до 360	H	9±3	10±3	10±3	11±3	12±4	13±4	14±4	15±5	16±6	17±6	18±6
	$D; L; B$	13±4	13±4	14±4	15±5	15±5	16±5	17±6	18±7	19±7	20±7	20±7
	d	19±4	20±4	20±4	21±5	21±5	22±5	23±6	24±7	25±7	26±7	26±7
Св. 360 до 420	H	10±3	11±4	11±4	12±4	13±5	14±5	15±5	16±6	17±7	18±7	19±7
	$D; L; B$	14±5	14±5	15±5	16±6	16±6	17±6	18±7	19±8	20±8	21±8	21±8
	d	20±5	21±5	21±5	22±6	22±6	23±6	24±7	25±8	26±8	27±8	27±8
Св. 420 до 485	H	10±3	11±4	11±4	12±4	13±5	14±5	15±5	16±6	17±7	18±7	19±7
	$D; L; B$	15±5	15±5	16±5	17±6	17±6	18±6	19±7	20±8	21±8	22±8	22±8
	d	21±5	22±5	22±5	23±6	23±6	24±6	25±7	26±8	27±8	28±8	28±8

Продолжение табл. 41

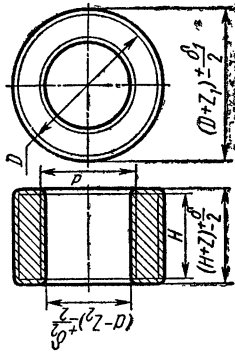
Диаметр детали D или размер сечения $L; B$, мм	Размеры детали, на которые назначаются припуски и предельные отклонения	Высота детали H , мм																					
		До 50	50—65	65—80	80—100	100—125	125—150	150—180	180—215	215—250	250—300	300—360											
Св. 485 до 550	H	—	12±4	12±4	13±4	14±5	15±5	16±5	17±6	18±7	19±7	20±7	21±8	22±9	23±9	24±9	25±9	26±8	27±9	28±9	29±9	20±7	
	$D; L; B$	—	16±6	17±6	18±7	18±7	19±7	19±7	20±8	21±9	21±9	22±9	23±9	24±9	25±9	26±9	27±9	28±9	29±9	30±9	31±9	32±9	33±9
	d	—	23±6	23±6	24±7	24±7	25±7	25±7	26±8	27±9	27±9	28±9	29±9	30±9	31±9	32±9	33±9	34±9	35±9	36±9	37±9	38±9	39±9
Св. 550 до 620	H	—	13±5	13±5	14±5	15±6	16±6	17±6	18±7	19±8	20±8	21±8	22±9	23±9	24±9	25±9	26±8	27±9	28±9	29±9	30±9	21±8	
	$D; L; B$	—	17±6	18±6	19±7	19±7	20±7	20±7	21±8	22±9	23±9	24±9	25±9	26±9	27±9	28±9	29±9	30±9	31±9	32±9	33±9	34±9	35±9
	d	—	24±6	24±6	25±7	25±7	26±7	26±7	27±8	28±9	28±9	29±9	30±9	31±9	32±9	33±9	34±9	35±9	36±9	37±9	38±9	39±9	40±9
Св. 620 до 700	H	—	14±6	14±6	15±6	16±7	17±7	18±7	19±8	20±9	21±9	22±9	23±10	24±10	25±10	26±10	27±10	28±10	29±10	30±10	31±10	32±10	33±10
	$D; L; B$	—	18±7	19±7	20±8	20±8	21±8	21±8	22±9	23±10	24±10	25±10	26±10	27±10	28±10	29±10	30±10	31±10	32±10	33±10	34±10	35±10	36±10
	d	—	25±7	25±7	26±8	26±8	27±8	27±8	28±9	29±10	29±10	30±10	31±10	32±10	33±10	34±10	35±10	36±10	37±10	38±10	39±10	40±10	41±10

Примечания: 1. Разрешается не прошивать отверстия диаметром ≤ 40 мм и при отношении высоты поковки к диаметру прошиваемого отверстия $\frac{H'}{d_{\text{пр}}} > 3$.

2. В отверстия поковки сверх припусков допускается уклон 1 : 20.

3. Припуски и предельные отклонения для прямоугольного сечения детали назначают в зависимости от наибольшего размера сечения.

42. Припуски и допуски на поковки типа раскатных колес, мм



Диаметр детали D, мм	Размеры детали, на которые назначаются припуски и предельные отклонения	Высота детали H, мм												
		До 50	50—65	65—80	80—100	100—125	125—150	150—180	180—215	215—250	250—300	300—360		
До 110	H	6±2	7±2	8±3	9±3	10±3	—	—	—	—	—	—	—	—
	D	9±3	10±3	11±3	12±4	12±4	—	—	—	—	—	—	—	—
	d	12±3	13±3	14±3	15±4	15±4	—	—	—	—	—	—	—	—
Св. 110 до 150	H	7±2	8±2	9±3	10±3	11±4	12±4	—	—	—	—	—	—	—
	D	10±3	11±3	11±3	12±4	13±4	14±4	—	—	—	—	—	—	—
	d	13±3	14±3	14±3	15±4	16±4	17±4	—	—	—	—	—	—	—
Св. 150 до 200	H	7±2	8±2	9±3	10±3	11±4	12±4	13±5	14±5	—	—	—	—	—
	D	11±3	12±3	12±3	13±4	14±4	15±5	16±6	—	—	—	—	—	—

Св. 200 до 250	d	при $D - d$	До 50	14 ± 3	15 ± 3	15 ± 3	16 ± 4	16 ± 4	17 ± 4	18 ± 5	19 ± 5	19 ± 5	—	—
			Св. 50 до 100	15 ± 3	16 ± 3	16 ± 3	17 ± 4	17 ± 4	18 ± 4	19 ± 5	20 ± 5	20 ± 5	—	—
Св. 250 до 300	d	при $D - d$	H	7 ± 2	8 ± 2	9 ± 3	10 ± 3	11 ± 4	12 ± 4	13 ± 5	14 ± 5	15 ± 6	—	—
			D	11 ± 3	12 ± 3	13 ± 4	14 ± 4	14 ± 4	15 ± 4	16 ± 5	17 ± 5	18 ± 6	—	—
			До 50	14 ± 3	15 ± 3	16 ± 4	17 ± 4	17 ± 4	18 ± 4	19 ± 5	20 ± 5	21 ± 6	—	—
			Св. 50 до 125	15 ± 3	16 ± 3	17 ± 4	18 ± 4	18 ± 4	19 ± 4	20 ± 5	21 ± 5	22 ± 6	—	—
Св. 300 до 360	d	при $D - d$	H	8 ± 2	9 ± 2	10 ± 3	11 ± 3	12 ± 4	13 ± 4	14 ± 5	15 ± 5	16 ± 6	17 ± 6	—
			D	12 ± 3	13 ± 4	14 ± 4	15 ± 5	15 ± 5	16 ± 5	17 ± 6	18 ± 6	19 ± 6	20 ± 6	—
			До 50	15 ± 3	16 ± 4	17 ± 4	18 ± 5	18 ± 5	19 ± 5	20 ± 6	21 ± 6	22 ± 6	23 ± 6	—
			Св. 50 до 125	16 ± 3	17 ± 4	18 ± 4	19 ± 5	19 ± 5	20 ± 5	21 ± 6	22 ± 6	23 ± 6	24 ± 6	—
Св. 300 до 360	d	при $D - d$	Св. 125 до 150	17 ± 3	18 ± 4	19 ± 4	20 ± 5	20 ± 5	21 ± 5	22 ± 6	23 ± 6	24 ± 6	25 ± 6	—
			H	9 ± 3	10 ± 3	11 ± 4	12 ± 4	13 ± 5	14 ± 5	15 ± 5	16 ± 6	17 ± 6	18 ± 7	19 ± 7
			D	13 ± 4	14 ± 4	15 ± 5	16 ± 5	16 ± 6	17 ± 6	18 ± 6	19 ± 6	20 ± 7	21 ± 7	22 ± 7
			До 50	16 ± 4	17 ± 4	18 ± 5	19 ± 5	19 ± 6	20 ± 6	21 ± 6	22 ± 6	23 ± 7	24 ± 7	25 ± 7
Св. 300 до 360	d	при $D - d$	Св. 50 до 125	17 ± 4	18 ± 4	19 ± 5	20 ± 5	20 ± 6	21 ± 6	22 ± 6	23 ± 6	24 ± 7	25 ± 7	26 ± 7
			Св. 125 до 180	18 ± 4	19 ± 4	20 ± 5	21 ± 5	21 ± 5	22 ± 6	23 ± 6	24 ± 6	25 ± 7	26 ± 7	27 ± 7

Продолжение табл. 42

Диаметр детали D , мм	Размеры детали, на которые назначаются припуски и предельные отклонения		Высота детали H , мм														
			До 50	50—65	65—80	80—100	100—125	125—150	150—180	180—215	215—250	250—300	300—360				
Св. 360 до 420	H		10±4	11±4	12±4	13±5	14±5	15±6	16±6	17±7	18±7	19±7	20±7	21±7	22±7	23±7	
		D	14±5	15±5	16±5	17±6	18±6	19±7	20±7	21±7	22±7	23±7	24±8	25±7	26±7	27±7	
	d	при $D = d$	До 50	17±5	18±5	19±5	20±6	20±6	21±6	22±6	23±7	24±8	25±7	26±7	27±7	28±7	29±7
			Св. 50 до 125	18±5	19±5	20±5	21±6	21±6	22±6	23±7	24±7	25±7	26±7	27±7	28±7	29±7	30±8
		Св. 125 до 215	19±5	20±5	21±5	22±6	22±6	23±6	24±7	25±7	26±7	27±7	28±7	29±7	30±8	31±8	32±8
		H	10±4	11±4	12±4	13±5	14±5	15±6	16±6	17±7	18±7	19±7	20±7	21±7	22±7	23±7	24±8
		D	15±6	16±6	17±6	18±6	19±7	20±7	21±7	22±7	23±7	24±8	25±8	26±8	27±8	28±8	29±8
		Св. 420 до 485		18±6	19±6	20±6	21±6	22±6	23±7	24±7	25±7	26±8	27±8	28±8	29±8	30±8	31±8
	Св. 485 до 550	H		11±4	12±4	13±4	14±5	15±5	16±6	17±6	18±7	19±7	20±8	21±8	22±8	23±8	24±8
			D	16±6	17±6	18±7	19±7	20±7	21±8	22±8	23±8	24±8	25±8	26±8	27±8	28±8	29±8
d		при $D = d$	До 50	19±6	20±6	21±7	22±7	23±7	24±8	25±8	26±8	27±8	28±8	29±8	30±8	31±8	
			Св. 50 до 125	20±6	21±6	22±7	23±7	24±7	25±8	26±8	27±8	28±8	29±8	30±8	31±8	32±8	
		Св. 125 до 250	20±6	21±6	22±6	23±6	24±7	25±7	26±7	27±8	28±8	29±8	30±8	31±8	32±8		
		H	11±4	12±4	13±4	14±5	15±5	16±6	17±6	18±7	19±7	20±7	21±8	22±8	23±8	24±8	
		D	16±6	17±6	18±7	19±7	20±7	21±8	22±8	23±8	24±8	25±8	26±8	27±8	28±8	29±8	
		Св. 250 до 550	19±6	20±6	21±7	22±7	23±7	24±8	25±8	26±8	27±8	28±8	29±8	30±8	31±8	32±8	
d		при $D = d$	До 50	20±6	21±6	22±7	23±7	24±7	25±8	26±8	27±8	28±8	29±8	30±8	31±8	32±8	
			Св. 50 до 275	21±6	22±6	23±7	24±7	25±7	26±8	27±8	28±8	29±8	30±8	31±8	32±8	33±8	

Св. 550 до 620	<i>H</i>	11 ± 4	12 ± 4	13 ± 4	14 ± 5	15 ± 5	16 ± 6	17 ± 6	18 ± 7	19 ± 7	20 ± 8	21 ± 8	
		<i>D</i>											
	<i>d</i>	До 50	20 ± 7	21 ± 7	22 ± 7	23 ± 7	23 ± 7	24 ± 8	25 ± 8	26 ± 8	27 ± 9	28 ± 9	29 ± 9
			при <i>D — d</i>										
		Св. 50 до 125	21 ± 7	22 ± 7	23 ± 7	24 ± 7	24 ± 7	25 ± 8	26 ± 8	27 ± 8	28 ± 9	29 ± 9	30 ± 9
			Св. 125 до 250										
		Св. 250 до 310											
		Св. 620 до 690	<i>H</i>	12 ± 5	13 ± 5	14 ± 5	15 ± 6	16 ± 6	17 ± 7	18 ± 7	19 ± 8	20 ± 8	21 ± 8
	<i>D</i>												
	<i>d</i>		До 50	21 ± 8	22 ± 8	23 ± 8	24 ± 8	24 ± 8	25 ± 8	26 ± 8	27 ± 9	28 ± 9	29 ± 9
при <i>D — d</i>													
Св. 50 до 125			22 ± 8	23 ± 8	24 ± 8	25 ± 8	25 ± 8	26 ± 8	27 ± 8	28 ± 8	29 ± 9	30 ± 9	31 ± 9
			Св. 125 до 250										
Св. 250 до 345													
Св. 690 до 765			<i>H</i>	—	13 ± 5	14 ± 5	15 ± 6	16 ± 6	17 ± 7	18 ± 7	19 ± 8	20 ± 8	21 ± 8
	<i>D</i>												
	<i>d</i>		До 50	—	20 ± 8	21 ± 9	22 ± 9	22 ± 9	23 ± 9	23 ± 9	24 ± 9	25 ± 9	26 ± 9
		при <i>D — d</i>											
		Св. 50 до 125	—	23 ± 8	24 ± 9	25 ± 9	25 ± 9	26 ± 9	26 ± 9	27 ± 9	28 ± 9	29 ± 9	30 ± 9
			Св. 125 до 250										
		Св. 250 до 382											

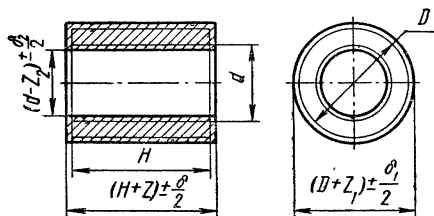
Продолжение табл. 42

Диаметр детали D , мм	Размеры детали, на которые назначаются припуски и предельные отклонения	Высота детали H , мм											
		До 50	50—65	65—80	80—100	100—125	125—150	150—180	180—215	215—250	250—300	300—320	
Св. 765 до 840	H	—	14±5	15±5	16±6	17±6	18±7	19±7	20±8	21±8	22±9	23±9	
	D	—	21±9	22±9	23±9	23±9	24±9	24±9	25±9	26±10	27±10	28±10	
	d	До 50	—	24±9	25±9	26±9	26±9	27±9	27±9	28±9	29±10	30±10	31±10
		Св. 50 до 125	—	25±9	26±9	27±9	27±9	28±9	28±9	29±9	30±10	31±10	32±10
		Св. 125 до 250	—	26±9	27±9	28±9	28±9	29±9	29±9	30±9	31±10	32±10	33±10
		Св. 250 до 400	—	27±9	28±9	29±9	29±9	30±9	30±9	31±9	32±10	33±10	34±10
	H	—	15±6	16±6	17±7	18±7	19±8	20±8	21±9	22±9	23±9	—	
	D	—	22±10	23±10	24±10	24±10	25±10	25±10	26±10	27±11	28±11	—	
	Св. 840 до 920	d	До 50	—	25±10	26±10	27±10	27±10	28±10	28±10	29±10	30±11	31±11
			Св. 50 до 125	—	26±10	27±10	28±10	28±10	29±10	30±10	31±11	32±11	—
D		До 250	—	27±10	28±10	29±10	29±10	30±10	31±10	32±11	33±11	—	
		Св. 250 до 400	—	28±10	29±10	30±10	30±10	31±10	32±10	33±11	34±11	—	
Св. 920 до 1000	H	—	—	17±7	18±8	19±8	20±8	21±9	22±10	23±10	24±10	—	
	D	—	—	24±11	25±11	25±11	26±11	26±11	27±11	28±11	29±11	—	

Св. 920 до 1000	d	при $D - d$	До 50	—	—	27 ± 11	28 ± 11	28 ± 11	29 ± 11	29 ± 11	30 ± 11	31 ± 11	32 ± 11	—
			Св. 50 до 125	—	—	28 ± 11	29 ± 11	29 ± 11	30 ± 11	30 ± 11	31 ± 11	32 ± 11	33 ± 11	—
			Св. 125 до 250	—	—	29 ± 11	30 ± 11	30 ± 11	31 ± 11	31 ± 11	32 ± 11	33 ± 11	34 ± 11	—
			Св. 250 до 400	—	—	30 ± 11	31 ± 11	31 ± 11	32 ± 11	32 ± 11	33 ± 11	34 ± 11	35 ± 11	—
Св. 1000 до 1085	d	при $D - d$	H											
			D											
			До 50	—	—	25 ± 11	26 ± 11	26 ± 11	27 ± 11	27 ± 11	28 ± 11	29 ± 11	29 ± 11	—
			Св. 50 до 125	—	—	28 ± 11	29 ± 11	29 ± 11	30 ± 11	30 ± 11	31 ± 11	32 ± 11	33 ± 11	—
Св. 1085 до 1200	d	при $D - d$	До 50	—	—	29 ± 11	30 ± 11	30 ± 11	31 ± 11	31 ± 11	32 ± 11	33 ± 11	34 ± 11	—
			Св. 50 до 125	—	—	29 ± 11	30 ± 11	30 ± 11	31 ± 11	31 ± 11	32 ± 11	33 ± 11	—	
			Св. 125 до 250	—	—	30 ± 11	31 ± 11	31 ± 11	32 ± 11	32 ± 11	33 ± 11	34 ± 11	—	
			Св. 250 до 400	—	—	31 ± 11	32 ± 11	32 ± 11	33 ± 11	33 ± 11	34 ± 11	35 ± 11	—	
Св. 1085 до 1200	d	при $D - d$	H											
			D											
			До 50	—	—	20 ± 9	21 ± 9	21 ± 9	22 ± 9	22 ± 9	23 ± 9	24 ± 9	25 ± 9	—
			Св. 50 до 125	—	—	27 ± 12	27 ± 12	28 ± 12	28 ± 12	29 ± 12	29 ± 12	30 ± 12	31 ± 12	—
Св. 1200 до 1250	d	при $D - d$	До 50	—	—	30 ± 12	30 ± 12	31 ± 12	31 ± 12	32 ± 12	32 ± 12	33 ± 12	34 ± 12	—
			Св. 50 до 125	—	—	31 ± 12	31 ± 12	32 ± 12	32 ± 12	33 ± 12	33 ± 12	34 ± 12	—	
			Св. 125 до 250	—	—	32 ± 12	32 ± 12	33 ± 12	33 ± 12	34 ± 12	34 ± 12	35 ± 12	—	
			Св. 250 до 400	—	—	33 ± 12	33 ± 12	34 ± 12	34 ± 12	35 ± 12	35 ± 12	36 ± 12	—	

Примечание. В отверстия допускается увеличение припуска на конусность 1 : 20.

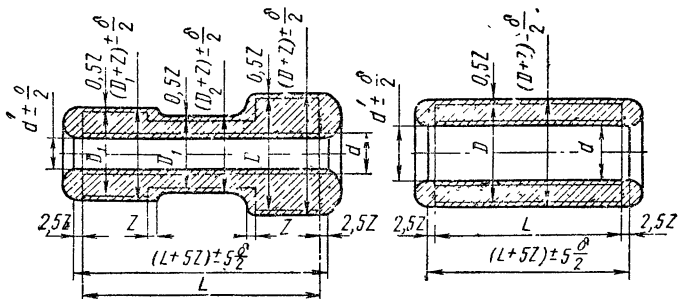
43. Припуски и допуски на поковки типа цилиндров с отверстиями, мм



Высота детали H, мм	Наружный диаметр детали D, мм	На высоту H	На наружный диаметр D	На внутренний диаметр d	Высота детали H, мм	Наружный диаметр детали D, мм	На высоту H	На наружный диаметр D	На внутренний диаметр d
До 80	До 80	13 ± 4	12 ± 3	17 ± 3	Св. 215 до 250	Св. 145 до 180	19 ± 7	16 ± 5	21 ± 5
		14 ± 5	12 ± 3	17 ± 3		Св. 180 до 215	19 ± 7	17 ± 6	22 ± 6
Св. 80 до 100	Св. 80 до 100	14 ± 5	13 ± 4	18 ± 4		Св. 215 до 250	19 ± 7	18 ± 6	23 ± 6
Св. 100 до 125	Св. 80 до 100	15 ± 6	13 ± 4	18 ± 4	Св. 250 до 300	Св. 165 до 215	20 ± 7	17 ± 6	22 ± 6
	Св. 100 до 125	15 ± 6	14 ± 4	19 ± 4		Св. 215 до 250	20 ± 7	18 ± 6	23 ± 6
						Св. 250 до 300	20 ± 7	19 ± 6	24 ± 6
Св. 125 до 150	Св. 80 до 125	16 ± 6	14 ± 4	19 ± 4	Св. 300 до 360	Св. 200 до 250	21 ± 8	18 ± 6	23 ± 6
	Св. 125 до 150	16 ± 6	15 ± 5	20 ± 5		Св. 250 до 300	21 ± 8	19 ± 6	24 ± 6
						Св. 300 до 360	21 ± 8	20 ± 7	25 ± 7
Св. 150 до 180	Св. 100 до 150	17 ± 6	15 ± 5	20 ± 5	Св. 360 до 420	Св. 300 до 360	21 ± 8	20 ± 7	25 ± 7
	Св. 150 до 180	17 ± 6	16 ± 5	21 ± 5		Св. 240 до 300	22 ± 8	20 ± 7	25 ± 7
						Св. 300 до 360	22 ± 8	21 ± 7	26 ± 7
Св. 180 до 215	Св. 120 до 150	18 ± 6	15 ± 5	20 ± 5	Св. 420 до 485	Св. 280 до 320	23 ± 9	21 ± 7	26 ± 7
	Св. 150 до 180	18 ± 6	16 ± 5	21 ± 5		Св. 320 до 360	23 ± 9	22 ± 8	27 ± 8
	Св. 180 до 215	18 ± 6	17 ± 6	22 ± 6		Св. 485 до 530	Св. 325 до 360	24 ± 10	23 ± 9

Примечание В поковке разрешается не выполнять отверстие диаметром $d \leq 40$ мм.

44. Припуски и допуски на поковки типа полых валов, мм



Длина детали L , мм	Наибольший диаметр детали D , мм					
	До 150	150—180	180—215	215—250	250—300	300—360
До 500	16 ± 6	17 ± 7	18 ± 7	19 ± 8	20 ± 8	22 ± 9
Св. 500 до 700	17 ± 7	18 ± 7	19 ± 8	20 ± 9	21 ± 8	22 ± 9
Св. 700 до 900	—	19 ± 8	20 ± 8	21 ± 8	22 ± 9	—
Св. 900 до 1000	—	—	21 ± 8	22 ± 9	23 ± 9	—
Св. 1100 до 1300	—	—	22 ± 9	23 ± 9	24 ± 9	—

Примечания: 1. Если $L < 2D$, то припуск принимают равным $3,5$, а допуск $\pm 3,5 \frac{\delta}{2}$.

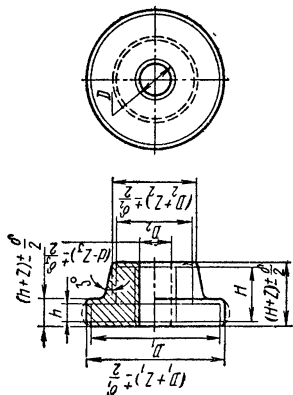
2. В отверстиях поковки допускается увеличение припусков на уклон $1 : 100$.

3. При диаметре оправки $d_{оп} \leq 120$ мм и длине поковки $L \geq 6d_{оп}$ допускается изготавливать сплошные поковки; также допускается изготавливать сплошные поковки, у которых при $L \leq 750$ мм разность диаметров $(D' - d') < 60$ мм, а при $L > 750$ мм $(D' - d') < 80$ мм.

4. Ниже приведены диаметры оправки.

Диаметр отверстия детали d , мм	Средний диаметр оправки $d_{оп}$, мм	Диаметр отверстия в поковке d' , мм	Диаметр отверстия детали d , мм	Средний диаметр оправки $d_{оп}$, мм	Диаметр отверстия в поковке d' , мм
Св. 120 до 130	90	90 ± 10	Св. 180 до 200	150	150 ± 10
Св. 130 до 140	100	100 ± 10	Св. 200 до 220	165	165 ± 10
Св. 140 до 150	110	110 ± 10	Св. 220 до 240	185	185 ± 10
Св. 150 до 160	120	120 ± 10	Св. 240 до 260	205	205 ± 10
Св. 160 до 170	130	130 ± 10	Св. 260 до 280	225	225 ± 10
Св. 170 до 180	140	140 ± 10			

45. Припуски в допуски на локотки типа втулок с уступами сплошными и с отверстиями, изготовляемых в подкладных кольцах, мм



Диаметр детали D_1 или D_2 , мм	Высота детали H , мм										
	До 50	50—65	65—80	80—100	100—125	125—150	150—180	180—215	215—250	250—300	300—360
До 50	H, h	7 ± 2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	D_1	7 ± 2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	D_2	$6 \begin{smallmatrix} +2 \\ -1 \end{smallmatrix}$	$6 \begin{smallmatrix} +2 \\ -1 \end{smallmatrix}$	$7 \begin{smallmatrix} +3 \\ -1 \end{smallmatrix}$	$7 \begin{smallmatrix} +3 \\ -1 \end{smallmatrix}$	—	—	—	—	—	—
	d	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
50—80	H, h	7 ± 2	8 ± 2	9 ± 2	—	—	—	—	—	—	—
	D_1	7 ± 2	8 ± 2	9 ± 2	—	—	—	—	—	—	—
	D_2	$5 \begin{smallmatrix} +2 \\ -1 \end{smallmatrix}$	$6 \begin{smallmatrix} +2 \\ -1 \end{smallmatrix}$	$7 \begin{smallmatrix} +3 \\ -1 \end{smallmatrix}$	$8 \begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	$8 \begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	$9 \begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	—	—	—	—
	d	13 ± 2	14 ± 2	15 ± 2	—	—	—	—	—	—	—

80—110	$H; h$	7 ± 2	8 ± 2	9 ± 2	10 ± 2	10 ± 3	11 ± 3	—	—	—	—
	D_1	8 ± 2	9 ± 2	9 ± 2	10 ± 3	10 ± 3	11 ± 3	—	—	—	—
	D_2	6 ± 2	7 ± 3	7 ± 3	8 ± 4	8 ± 4	9 ± 4	9 ± 4	10 ± 4	10 ± 4	—
	d	14 ± 2	15 ± 2	15 ± 2	16 ± 2	16 ± 2	17 ± 3	—	—	—	—
110—150	$H; h$	7 ± 2	8 ± 2	9 ± 2	10 ± 3	10 ± 3	11 ± 3	12 ± 3	13 ± 4	—	—
	D_1	9 ± 2	10 ± 2	10 ± 3	11 ± 3	11 ± 3	12 ± 3	13 ± 4	13 ± 4	—	—
	D_2	7 ± 3 -1	8 ± 4 -2	8 ± 4 -2	9 ± 4 -2	9 ± 4 -2	10 ± 4 -2	10 ± 4 -2	11 ± 5 -2	11 ± 5 -2	12 ± 5 -2
	d	15 ± 2	16 ± 2	16 ± 2	17 ± 3	17 ± 3	18 ± 4	19 ± 4	20 ± 5	—	—
150—200	$H; h$	8 ± 2	8 ± 2	9 ± 3	10 ± 3	11 ± 3	12 ± 3	13 ± 4	14 ± 4	15 ± 4	—
	D_1	10 ± 3	11 ± 3	11 ± 3	12 ± 3	12 ± 3	13 ± 4	13 ± 4	14 ± 4	15 ± 4	—
	D_2	8 ± 4 -2	8 ± 4 -2	9 ± 4 -2	9 ± 4 -2	10 ± 4 -2	11 ± 5 -2	11 ± 5 -2	12 ± 5 -2	12 ± 5 -2	13 ± 6 -2
	d	16 ± 3	17 ± 3	17 ± 3	18 ± 4	18 ± 4	19 ± 4	19 ± 4	20 ± 5	—	—
200—250	$H; h$	8 ± 2	9 ± 3	10 ± 3	11 ± 3	12 ± 3	13 ± 4	14 ± 4	15 ± 5	16 ± 6	17 ± 6
	D_1	11 ± 3	12 ± 3	12 ± 3	13 ± 4	13 ± 4	14 ± 4	14 ± 4	15 ± 5	16 ± 6	17 ± 6
	D_2	9 ± 4 -2	9 ± 4 -2	10 ± 4 -2	10 ± 4 -2	11 ± 5 -2	12 ± 5 -2	12 ± 5 -2	13 ± 6 -2	13 ± 6 -2	14 ± 6 -2
	d	17 ± 3	18 ± 3	18 ± 3	19 ± 4	19 ± 4	20 ± 4	20 ± 4	21 ± 5	22 ± 6	23 ± 6
250—300	$H; h$	9 ± 3	10 ± 3	11 ± 3	12 ± 3	13 ± 4	14 ± 4	15 ± 4	16 ± 4	17 ± 5	18 ± 6
	D_1	12 ± 4	13 ± 4	13 ± 4	14 ± 5	14 ± 5	15 ± 5	15 ± 5	16 ± 6	17 ± 7	18 ± 7
	D_2	9 ± 4 -2	10 ± 4 -2	11 ± 5 -2	11 ± 5 -2	12 ± 5 -2	13 ± 6 -2	13 ± 6 -2	14 ± 6 -2	14 ± 6 -2	15 ± 6 -2
	d	18 ± 4	19 ± 4	19 ± 4	20 ± 5	20 ± 5	21 ± 5	21 ± 5	22 ± 6	23 ± 7	24 ± 7
300—360	$H; h$	—	10 ± 3	11 ± 3	12 ± 4	13 ± 4	14 ± 4	15 ± 4	16 ± 5	17 ± 6	18 ± 6
	D_1	—	13 ± 4	14 ± 4	15 ± 5	15 ± 5	16 ± 5	16 ± 5	17 ± 6	18 ± 7	19 ± 7
	D_2	—	11 ± 5 -2	11 ± 5 -2	12 ± 5 -2	13 ± 6 -2	14 ± 6 -2	14 ± 6 -2	15 ± 6 -2	15 ± 6 -2	16 ± 7 -2
	d	—	20 ± 4	20 ± 4	21 ± 5	21 ± 5	22 ± 5	22 ± 5	23 ± 5	24 ± 6	25 ± 7

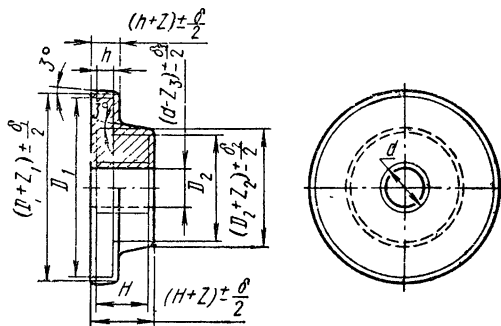
Продолжение табл. 45

Диаметр детали D_1 или D_2 , мм	Размеры детали, на которые назначаются припуски и предельные отклонения	Высота детали H , мм										
		До 50	50—65	65—80	80—100	100—125	125—150	150—180	180—215	215—250	250—300	300—360
360—420	$H; l$	—	11±3	12±3	13±4	14±4	15±4	16±5	17±5	18±6	19±6	20±7
	D_1	—	14±5	15±5	16±6	16±6	17±6	17±6	18±7	19±8	20±8	21±8
	d	—	21±5	21±5	22±6	22±6	23±6	23±6	24±7	25±8	26±8	27±8
420—485	$H; h$	—	—	12±3	13±4	14±4	15±4	16±5	17±6	18±6	19±7	20±7
	D_1	—	—	16±5	17±6	17±6	18±6	18±6	19±7	20±8	21±8	22±8
	d	—	—	22±5	23±6	23±6	24±6	24±6	25±7	26±8	27±8	28±8
485—550	$H; h$	—	—	13±4	13±4	14±4	15±5	16±6	17±6	18±7	19±7	20±7
	D_1	—	—	17±6	18±7	18±7	19±7	19±7	20±8	21±9	22±9	23±9
	d	—	—	23±6	24±7	24±7	25±7	25±7	26±8	27±9	28±9	29±9

Примечания: 1. Ступицу диаметром >360 мм разрешается не выполнять.

2. Допускается доведение поочередного размера ступицы до размера подкладного кольца, при этом дополнительный припуск не должен превышать табличный более, чем в 2,5 раза

46. Припуски и допуски на поковки типа втулок с уступами сплошных и с отверстиями, изготавливаемых в подкладных штампах, мм



Диаметр детали D_1 или D_2 , мм	Размеры детали, на которые назначаются припуски и предельные отклонения	Высота детали H , мм						
		До 50	50—65	65—80	80—100	100—125	125—160	150—180
До 50	$H; h$	7 ± 2	7 ± 2	—	—	—	—	—
	$D_1; D_2$	$5 \begin{smallmatrix} +2 \\ -1 \end{smallmatrix}$	$6 \begin{smallmatrix} +2 \\ -1 \end{smallmatrix}$	$6 \begin{smallmatrix} +2 \\ -1 \end{smallmatrix}$	$7 \begin{smallmatrix} +3 \\ -1 \end{smallmatrix}$	$7 \begin{smallmatrix} +3 \\ -1 \end{smallmatrix}$	—	—
	d	—	—	—	—	—	—	—
Св. 50 до 80	$H; h$	7 ± 2	8 ± 2	9 ± 2	9 ± 2	—	—	—
	$D_1; D_2$	$5 \begin{smallmatrix} +2 \\ -1 \end{smallmatrix}$	$6 \begin{smallmatrix} +2 \\ -1 \end{smallmatrix}$	$7 \begin{smallmatrix} +3 \\ -1 \end{smallmatrix}$	$7 \begin{smallmatrix} +3 \\ -1 \end{smallmatrix}$	$8 \begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	$8 \begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	$9 \begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$
	d	13 ± 2	14 ± 2	14 ± 2	15 ± 2	—	—	—
Св. 80 до 110	$H; h$	8 ± 2	8 ± 2	9 ± 2	10 ± 3	11 ± 3	—	—
	$D_1; D_2$	$6 \begin{smallmatrix} +2 \\ -1 \end{smallmatrix}$	$7 \begin{smallmatrix} +3 \\ -1 \end{smallmatrix}$	$7 \begin{smallmatrix} +3 \\ -1 \end{smallmatrix}$	$8 \begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	$8 \begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	$9 \begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	$9 \begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$
	d	14 ± 2	15 ± 2	15 ± 2	16 ± 2	16 ± 2	—	—

Продолжение табл. 46

Диаметр детали, D_1 или D_2 , мм	Размеры детали, на которые назначаются припуски и предельные отклонения	Высота детали H , мм						
		До 50	50—65	65—80	80—100	100—125	125—150	150—180
Св. 110 до 150	$H; h$	8 ± 2	9 ± 2	10 ± 3	10 ± 3	11 ± 3	12 ± 3	—
	$D_1; D_2$	$7 \begin{smallmatrix} +3 \\ -1 \end{smallmatrix}$	$8 \begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	$8 \begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	$9 \begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	$9 \begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	$10 \begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	$10 \begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$
	d	15 ± 2	16 ± 2	16 ± 2	17 ± 3	17 ± 3	18 ± 3	—
Св. 150 до 200	$H; h$	9 ± 2	9 ± 2	10 ± 3	11 ± 3	12 ± 3	12 ± 3	13 ± 4
	$D_1; D_2$	$8 \begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	$8 \begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	$9 \begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	$9 \begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	$10 \begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	$11 \begin{smallmatrix} +5 \\ -2 \end{smallmatrix}$	$11 \begin{smallmatrix} +5 \\ -2 \end{smallmatrix}$
	d	16 ± 3	17 ± 3	17 ± 3	18 ± 4	18 ± 4	19 ± 4	19 ± 4
Св. 200 до 250	$H; h$	9 ± 2	10 ± 3	11 ± 3	11 ± 3	12 ± 3	13 ± 4	14 ± 4
	$D_1; D_2$	$9 \begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	$9 \begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	$10 \begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	$10 \begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	$11 \begin{smallmatrix} +5 \\ -2 \end{smallmatrix}$	$12 \begin{smallmatrix} +5 \\ -2 \end{smallmatrix}$	$12 \begin{smallmatrix} +5 \\ -2 \end{smallmatrix}$
	d	17 ± 3	18 ± 3	18 ± 3	19 ± 4	19 ± 4	20 ± 4	20 ± 4
Св. 250 до 300	$H; h$	10 ± 3	11 ± 3	11 ± 3	12 ± 3	13 ± 4	14 ± 4	15 ± 4
	$D_1; D_2$	$9 \begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	$10 \begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	$11 \begin{smallmatrix} +5 \\ -2 \end{smallmatrix}$	$11 \begin{smallmatrix} +5 \\ -2 \end{smallmatrix}$	$12 \begin{smallmatrix} +5 \\ -2 \end{smallmatrix}$	$13 \begin{smallmatrix} +5 \\ -2 \end{smallmatrix}$	$13 \begin{smallmatrix} +5 \\ -2 \end{smallmatrix}$
	d	18 ± 4	19 ± 4	19 ± 4	20 ± 5	20 ± 5	21 ± 5	21 ± 5
Св. 300 до 360	$H; h$	—	11 ± 3	12 ± 3	13 ± 4	14 ± 4	15 ± 4	15 ± 4
	$D_1; D_2$	—	$11 \begin{smallmatrix} +5 \\ -2 \end{smallmatrix}$	$11 \begin{smallmatrix} +5 \\ -2 \end{smallmatrix}$	$12 \begin{smallmatrix} +5 \\ -2 \end{smallmatrix}$	$13 \begin{smallmatrix} +6 \\ -2 \end{smallmatrix}$	$14 \begin{smallmatrix} +6 \\ -2 \end{smallmatrix}$	$14 \begin{smallmatrix} +6 \\ -2 \end{smallmatrix}$
	d	—	20 ± 4	20 ± 4	21 ± 5	21 ± 5	22 ± 5	22 ± 5

Поковки, получаемые штамповкой. Припуски на механическую обработку и допуски для стальных поволоков общего назначения массой до 400 кг, изготавливаемые горячей объемной штамповкой на различных видах кузнечно-прессового оборудования, приведены в табл. 47—50.

Общие положения. По ГОСТ 7505—74 поковки разделяют:

1. По точности изготовления: I класс — повышенная и II класс — нормальная точность. Класс точности изготовления поволоков устанавливается в зависимости от предъявляемых требований к детали, а также условий и характера производства. Допускается изготовление по различным классам разных размеров одной и той же поковки.

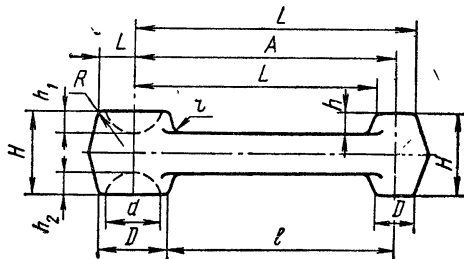


Рис. 3

2. По группе стали: М1 — углеродистая сталь, легированная сталь с содержанием углерода 0,45% и легирующих элементов до 2,0% и М2 — легированная сталь.

3. По степени сложности поковки: С1, С2, С3, С4 $C = \frac{G_{\text{п}}}{G_{\text{ф}}}$, здесь $G_{\text{п}}$ и $G_{\text{ф}}$ — массы (объемы) соответственно поковки и простой фигуры, в которую вписывается поковка: $0,63 < C1 < 1$; $0,32 < C2 < 0,63$; $0,16 < C3 < 0,32$ и $C4 < 0,16$.

Для поволоков, изготавливаемых на молотах и прессах, кроме сложности по форме, дополнительным критерием является соотношение между высотой выступа h и его основанием b . При этом для С1 — $h \leq 0,3b$; С2 — $h \leq b$; С3 — $h \leq 1,5b$ и С4 — $h \geq 1,5b$.

4. Допуски на внутренние размеры поволоков необходимо устанавливать с обратным знаком.

5. Допуски на размеры H , d и D (рис. 3), обуславливающие недоштамповку и двусторонний износ штампов, берут табличные. Допуски на размеры L , l , обуславливающие односторонний износ, меньше в 2 раза табличных величин; допуски на размеры h (по перепаду), обуславливающие односторонний износ штампов, устанавливают из расчета $\pm 0,5$ поля допуска табличного; допуски на размер h_1 берут табличные, но с обратным знаком. Допуски на неговоренные размеры поковки устанавливают из расчета $\pm 0,7$ поля допуска по ширине или длине поковки.

6. Приведенные в табл. 49 припуски не распространяются на поковки, обрабатываемые в сварном или собранном виде, при стыковке агрегатов и т. п.

7. При изготовлении поволоков из заготовок, подвергающихся пламенному нагреву, допускается увеличение припуска на обработку поволоков массой: до 2,5 кг до 0,5 мм; 2,5—6 кг до 0,8 мм и более 6 кг до 1 мм.

нормальной точности, мм

Для размера, мм												
До 50	50— 120	120— 180	180— 260	260— 360	360— 500	500— 630	630— 800	800— 1000	1000— 1250	1250— 1600	1600— 2000	2000— 2500
+0,6 -0,4	+0,7 -0,4	+0,8 -0,4	+0,9 -0,5	+1,0 -0,6	+1;2 -0,6							
+0,7 -0,4	+0,8 -0,4	+0,9 -0,5	+1,0 -0,6	+1,2 -0,6	+1,3 -0,7							
+0,8 -0,4	+0,9 -0,5	+1,1 -0,5	+1,2 -0,6	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,4 -1,0						
+0,9 -0,5	+1,1 -0,5	+1,2 -0,6	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,5 -0,9	+1,6 -1,0						
+1,1 -0,5	+1,2 -0,6	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,6 -0,8	+1,6 -1,0	+1,8 -1,1	+2,0 -1,2					
+1,2 -0,6	+1,3 -0,7	+1,5 -0,7	+1,6 -0,8	+1,7 -0,9	+1,8 -1,1	+2,0 -1,2	+2,2 -1,4	+2,5 -1,5				
+1,3 -0,7	+1,5 -0,7	+1,6 -0,8	+1,7 -0,9	+1,9 -1,0	+2,0 -1,2	+2,2 -1,4	+2,5 -1,5	+3,0 -1,5	+3,0 -2,0			
+1,5 -0,7	+1,6 -0,8	+1,7 -0,9	+1,9 -1,0	+2,0 -1,2	+2,2 -1,4	+2,5 -1,5	+3,0 -1,5	+3,0 -2,0	+3,5 -2,0	+4,0 -2,0		
+1,6 -0,8	+1,7 -0,9	+1,9 -1,0	+2,1 -1,1	+2,2 -1,4	+2,5 -1,5	+3,0 -1,5	+3,0 -2,0	+3,5 -2,0	+4,0 -2,0	+4,0 -2,5	+4,5 -2,5	
+1,7 -0,9	+1,9 -1,0	+2,1 -1,1	+2,4 -1,2	+2,5 -1,5	+3,0 -1,5	+3,0 -2,0	+3,5 -2,0	+4,0 -2,0	+4,0 -2,5	+4,5 -2,5	+4,5 -3,0	+5,0 -3,0
+1,9 -1,0	+2,1 -1,1	+2,4 -1,2	+2,5 -1,5	+3,0 -1,5	+3,0 -2,0	+3,0 -2,0	+4,0 -2,0	+4,0 -2,5	+4,5 -2,5	+4,5 -3,0	+5,0 -3,0	+5,0 -3,5
+2,1 -1,1	+2,4 -1,2	+2,5 -1,5	+3,0 -1,5	+3,0 -2,0	+3,5 -2,0	+4,0 -2,0	+4,0 -2,5	+4,5 -2,5	+4,5 -3,0	+5,0 -3,0	+5,5 -3,0	+5,5 -3,5
+2,4 -1,2	+2,5 -1,5	+3,0 -1,5	+3,5 -1,5	+3,5 -2,0	+4,0 -2,0	+4,0 -2,5	+4,5 -2,5	+4,5 -3,0	+5,0 -3,0	+5,5 -3,0	+5,5 -3,5	+6,0 -4,0
+2,5 -1,5	+3,0 -1,5	+3,5 -1,5	+3,5 -2,0	+4,0 -2,0	+4,0 -2,5	+4,5 -2,5	+4,5 -3,0	+5,0 -3,0	+5,5 -3,0	+5,5 -3,5	+6,0 -4,0	+6,5 -4,5
+3,0 -1,5	+3,5 -1,5	+3,5 -2,0	+4,0 -2,0	+4,5 -2,5	+4,5 -3,0	+5,0 -3,0	+5,0 -3,5	+5,5 -3,5	+6,0 -4,0	+6,0 -4,5	+6,5 -4,5	+7,0 -5,0
+3,5 -1,5	+3,5 -2,0	+4,0 -2,0	+5,0 -2,5	+5,0 -3,0	+5,5 -3,5	+5,5 -3,5	+5,5 -4,0	+6,0 -4,0	+6,0 -4,5	+6,5 -4,5	+7,0 -5,0	+7,5 -5,5
+3,5 -2,0	+4,0 -2,0	+5,0 -2,5	+5,5 -2,5	+5,5 -3,0	+5,5 -3,5	+6,0 -3,5	+6,5 -3,5	+6,5 -4,0	+6,5 -4,5	+7,0 -5,0	+7,5 -5,5	+8,0 -6,0
+4,0 -2,0	+5,0 -2,5	+5,5 -3,0	+6,0 -3,0	+6,0 -3,5	+6,0 -4,0	+6,5 -4,0	+6,5 -4,5	+7,0 -4,5	+7,0 -5,0	+7,5 -5,5	+8,0 -6,0	+8,5 -6,5
+5,0 -2,5	+5,5 -3,0	+6,0 -3,0	+6,5 -3,0	+6,5 -3,5	+6,5 -4,0	+6,5 -4,5	+7,0 -4,5	+7,0 -5,0	+7,5 -5,5	+8,0 -6,0	+8,5 -6,5	+9,0 -7,0
+5,5 -3,0	+6,0 -3,0	+6,5 -3,5	+7,0 -3,5	+7,0 -4,0	+7,0 -4,5	+7,5 -4,5	+7,0 -5,0	+7,5 -5,5	+8,0 -6,0	+8,5 -6,5	+9,0 -7,0	+9,5 -7,5
+6,0 -3,0	+6,5 -3,5	+7,0 -3,5	+7,5 -4,0	+8,0 -4,0	+8,0 -4,5	+8,0 -5,0	+7,5 -5,5	+8,0 -6,0	+8,5 -6,5	+9,0 -7,0	+9,5 -7,0	+10,0 -8,0
+6,5 -3,5	+7,0 -3,5	+7,5 -4,0	+8,0 -4,0	+8,0 -4,5	+8,0 -5,0	+8,0 -5,5	+8,0 -6,0	+8,5 -6,5	+9,0 -7,0	+9,5 -7,5	+10,0 -8,0	+10,5 -8,5

Повышенной точности, мм

Для размера, мм

До 50	50— 120	120— 180	180— 260	260— 360	360— 500	500— 630	630— 800	800— 1000	1000— 1250	1250— 1600	1600— 2000	2000— 2500
+0,5 -0,2	+0,5 -0,3	+0,6 -0,3	+0,7 -0,3	+0,7 -0,4	+0,7 -0,5							
+0,5 -0,3	+0,6 -0,3	+0,7 -0,3	+0,7 -0,4	+0,7 -0,5	+0,7 -0,6							
+0,6 -0,3	+0,7 -0,3	+0,7 -0,4	+0,8 -0,4	+0,8 -0,5	+0,9 -0,5	+0,9 -0,6						
+0,7 -0,3	+0,7 -0,4	+0,8 -0,4	+0,9 -0,4	+0,9 -0,5	+0,9 -0,6	+0,9 -0,7						
+0,7 -0,4	+0,8 -0,4	+0,9 -0,4	+0,9 -0,5	+1,0 -0,5	+1,0 -0,6	+1,1 -0,7	+1,2 -0,8					
+0,8 -0,4	+0,9 -0,4	+1,0 -0,4	+1,0 -0,5	+1,0 -0,6	+1,1 -0,7	+1,2 -0,8	+1,3 -0,9	+1,5 -1,0				
+0,9 -0,4	+1,0 -0,4	+1,0 -0,5	+1,0 -0,6	+1,1 -0,7	+1,2 -0,8	+1,3 -0,9	+1,5 -1,0	+1,6 -1,2	+1,7 -1,3			
+1,0 -0,4	+1,0 -0,5	+1,0 -0,6	+1,1 -0,7	+1,2 -0,8	+1,3 -0,9	+1,6 -0,9	+1,8 -1,0	+2,0 -1,0	+2,0 -1,2	+2,0 -1,5		
+1,0 -0,5	+1,0 -0,6	+1,2 -0,6	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,5 -1,0	+1,7 -1,1	+1,8 -1,2	+2,0 -1,2	+2,0 -1,5	+2,5 -1,5		
+1,0 -0,6	+1,2 -0,6	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,5 -1,0	+1,8 -1,0	+1,8 -1,2	+2,0 -1,2	+2,0 -1,5	+2,5 -1,5	+2,5 -2,0	+3,0 -2,0	
+1,2 -0,6	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,5 -1,0	+1,8 -1,0	+1,8 -1,2	+2,0 -1,2	+2,0 -1,5	+2,5 -1,5	+2,5 -2,0	+3,0 -2,0	+3,5 -2,0	+3,5 -2,5
+1,3 -0,7	+1,5 -0,7	+1,7 -0,8	+1,8 -1,0	+1,8 -1,2	+2,0 -1,2	+2,0 -1,5	+2,5 -1,5	+2,5 -2,0	+3,0 -2,0	+3,5 -2,0	+3,5 -2,5	+3,5 -3,0
+1,5 -0,7	+1,7 -0,8	+1,8 -1,0	+1,8 -1,2	+2,0 -1,2	+2,0 -1,5	+2,5 -1,5	+2,5 -2,0	+3,0 -2,0	+3,5 -2,0	+3,5 -2,5	+3,8 -2,8	+4,0 -3,0
+1,7 -0,8	+1,8 -1,0	+1,8 -1,2	+2,0 -1,2	+2,0 -1,5	+2,5 -1,5	+2,5 -2,0	+3,0 -2,0	+3,5 -2,0	+3,5 -2,5	+3,8 -2,8	+4,0 -3,0	+4,5 -3,0
+1,8 -1,0	+1,8 -1,2	+2,0 -1,2	+2,0 -1,5	+2,5 -2,0	+2,5 -2,0	+3,0 -2,0	+3,5 -2,0	+3,5 -2,5	+3,8 -2,8	+4,0 -3,0	+4,0 -3,0	+4,5 -3,5
+2,5 -1,4	+2,8 -1,4	+3,2 -1,6	+3,6 -1,8	+3,6 -2,0	+3,6 -2,5	+4,0 -2,5	+4,0 -2,8	+4,0 -3,0	+4,0 -3,5	+4,5 -3,5	+5,0 -3,5	+5,5 -3,5
+2,8 -1,4	+3,2 -1,6	+3,6 -1,8	+3,8 -2,0	+4,0 -2,2	+4,2 -2,5	+4,2 -2,8	+4,5 -3,0	+4,8 -3,0	+5,0 -3,2	+5,5 -3,5	+5,5 -4,0	+6,0 -4,5
+3,2 -1,6	+3,6 -1,8	+3,8 -2,0	+4,0 -2,2	+4,2 -2,5	+4,2 -2,8	+4,5 -3,0	+4,8 -3,0	+5,0 -3,2	+5,5 -3,5	+5,5 -4,0	+6,0 -4,5	+6,5 -4,5
+3,6 -1,8	+3,8 -2,0	+4,0 -2,2	+4,2 -2,5	+4,2 -2,8	+4,5 -3,0	+4,8 -3,0	+5,0 -3,2	+5,5 -3,5	+5,5 -4,0	+6,0 -4,5	+6,5 -4,5	+7,0 -5,0
+4,0 -2,0	+4,2 -2,2	+4,4 -2,2	+4,6 -2,5	+5,0 -3,0	+5,4 -3,0	+5,8 -3,2	+6,0 -3,5	+6,5 -4,0	+7,0 -4,0	+7,5 -4,5	+7,5 -5,0	+7,5 -5,5
+4,4 -2,2	+4,8 -2,2	+5,0 -2,5	+6,2 -3,0	+5,4 -3,0	+5,8 -3,2	+6,0 -3,5	+6,5 -4,0	+7,0 -4,0	+7,5 -4,5	+7,5 -5,0	+7,5 -5,5	+8,5 -5,0
+4,8 -2,2	+5,0 -2,5	+5,2 -3,0	+5,4 -3,0	+5,8 -3,2	+6,0 -3,5	+6,5 -4,0	+7,0 -4,0	+7,5 -4,5	+7,5 -5,0	+7,5 -5,5	+8,0 -5,5	+8,0 -6,0

49. Припуски на механическую

Масса поковки, кг	Точность изготовления		Группа стали		Степень сложности поковки		Толщина						
	I класс	II класс	M1	M2	C1, C2	C3, C4	До 50			50—120			
							1—3	4—6	7	1—3	4—6	7	1—3
До 0,25							0,6	1,1	1,4	0,7	1,2	1,5	0,8
0,25—0,40							0,7	1,2	1,5	0,8	1,3	1,6	0,9
0,40—0,63							0,8	1,3	1,6	0,9	1,4	1,7	1,0
0,63—1,0							0,9	1,4	1,7	1,0	1,5	1,8	1,1
1,0—1,6							1,0	1,5	1,8	1,1	1,6	1,9	1,2
1,6—2,5							1,1	1,6	1,9	1,2	1,7	2,0	1,3
2,5—4,0							1,2	1,7	2,0	1,3	1,8	2,1	1,4
4,0—6,3							1,4	1,9	2,2	1,5	2,0	2,3	1,6
6,3—10,0							1,6	2,1	2,4	1,7	2,2	2,5	1,8
10,0—16,0							1,8	2,3	2,6	1,9	2,4	2,7	2,0
16,0—25,0							2,0	2,5	2,8	2,1	2,6	2,9	2,2
25,0—40,0							2,2	2,7	3,0	2,3	2,8	3,1	2,4
40,0—63,0							2,4	2,9	3,3	2,5	3,0	3,4	2,6
63,0—100,0							2,7	3,2	3,6	2,8	3,3	3,7	2,9
100,0—160,0							3,0	3,5	3,9	3,2	3,7	4,1	3,3
160,0—250,0							3,3	3,9	4,3	3,6	4,2	4,6	3,7
250,0—400,0							3,6	4,2	4,7	4,0	4,6	5,1	4,2
							4,0	4,7	5,2	4,5	5,2	5,6	4,7
							4,5	5,2	5,8	5,0	5,7	6,2	5,2
							5,0	5,7	6,3	5,5	6,2	6,7	5,7
							5,5	6,3	6,9	6,0	6,8	7,3	6,2
							6,0	6,8	7,4	6,5	7,4	8,0	6,7
							6,5	7,4	8,0	7,0	7,9	8,5	7,2
							7,0	8,0	8,6	7,5	8,5	9,2	7,8

обработку поковок, мм

(высота), длина или ширина поковок, мм

120—180		180—260			260—360			360—500			500—630		
Класс шероховатости (ГОСТ 2789—73)													
4—6	7	1—3	4—6	7	1—3	4—6	7	1—3	4—6	7	1—3	4—6	7
1,3	1,6	0,9	1,4	1,7	1,0	1,5	1,8	1,1	1,6	1,9			
1,4	1,7	1,0	1,5	1,8	1,1	1,6	1,9	1,2	1,7	2,0	1,3	1,8	2,1
1,5	1,8	1,1	1,6	1,9	1,2	1,7	2,0	1,3	1,8	2,1	1,4	1,9	2,2
1,6	1,9	1,2	1,7	2,0	1,3	1,8	2,1	1,4	1,9	2,2	1,5	2,0	2,3
1,7	2,0	1,3	1,8	2,1	1,4	1,9	2,2	1,5	2,0	2,3	1,6	2,1	2,4
1,8	2,1	1,4	1,9	2,2	1,5	2,0	2,3	1,6	2,1	2,4	1,7	2,2	2,5
1,9	2,2	1,6	2,1	2,4	1,7	2,2	2,5	1,8	2,3	2,6	1,9	2,4	2,7
2,1	2,4	1,8	2,3	2,6	1,9	2,4	2,7	2,0	2,5	2,8	2,1	2,6	2,9
2,3	2,6	2,0	2,5	2,8	2,1	2,6	2,9	2,2	2,7	3,0	2,3	2,8	3,1
2,5	2,8	2,2	2,7	3,0	2,3	2,8	3,1	2,4	2,9	3,2	2,5	3,0	3,3
2,7	3,0	2,4	2,9	3,2	2,5	3,0	3,3	2,6	3,1	3,4	2,7	3,2	3,5
2,9	3,2	2,6	3,1	3,5	2,7	3,2	3,6	2,8	3,3	3,7	2,9	3,4	3,8
3,1	3,5	2,8	3,3	3,7	2,9	3,4	3,8	3,0	3,5	3,9	3,1	3,6	4,0
3,4	3,8	3,1	3,6	4,0	3,2	3,7	4,1	3,3	3,8	4,2	3,4	3,9	4,3
3,8	4,2	3,4	3,9	4,3	3,5	4,0	4,4	3,6	4,1	4,5	3,7	4,3	4,7
4,3	4,7	3,8	4,4	4,8	3,9	4,5	4,9	4,0	4,6	5,0	4,1	4,7	5,2
4,8	5,3	4,3	5,0	5,5	4,4	5,1	5,6	4,5	5,2	5,7	4,6	5,3	5,9
5,4	5,9	4,8	5,5	6,0	4,9	5,6	6,1	5,0	5,7	6,2	5,1	5,8	6,4
6,0	6,5	5,3	6,1	6,6	5,4	6,2	6,7	5,5	6,3	6,9	5,6	6,4	7,0
6,6	7,0	5,8	6,6	7,1	5,9	6,7	7,3	6,0	6,9	7,5	6,1	7,0	7,6
7,0	7,5	6,3	7,1	7,7	6,4	7,3	7,9	6,5	7,5	8,1	6,6	7,6	8,2
7,6	8,2	6,8	7,7	8,3	6,9	7,9	8,6	7,0	8,0	8,7	7,1	8,1	8,8
8,2	8,8	7,4	8,4	8,0	7,5	8,5	9,3	7,6	8,5	9,4	7,7	8,7	9,5
8,8	8,5	8,0	9,0	9,6	8,2	9,2	10	8,2	9,2	10,1	8,3	9,3	10,3

Масса поковки, кг	Точность изготовления		Группа стали		Степень сложности поковки		630—880						
	I класс	II класс	M1	M2	C1, C2	C3, C4	630—880			1—3			
							1—3	4—6	7				
До 0,25													
0,25—0,40													
0,40—0,63							1,6	2,1	2,4				
0,63—1,0							1,7	2,2	2,5	1,9			
1,0—1,6							1,8	2,3	2,6	2,0			
1,6—2,5							1,9	2,4	2,7	2,1			
2,5—4,0							2,0	2,5	2,8	2,2			
4,0—6,3							2,2	2,7	3,0	2,4			
6,3—10,0							2,4	2,9	3,2	2,6			
10,0—16,0							2,6	3,1	3,4	2,8			
16,0—25,0							2,8	3,4	3,8	3,0			
25,0—40,0							3,0	3,6	4,0	3,2			
40,0—63,0							3,3	3,9	4,2	3,5			
63,0—100,0							3,6	4,2	4,6	3,8			
100,0—160,0							4,0	4,6	5,0	4,2			
160,0—250,0							4,4	5,0	5,5	4,6			
250,0—400,0							4,8	5,5	6,0	5,0			
							5,2	5,9	6,5	5,4			
							5,7	6,5	7,1	5,8			
							6,2	7,0	7,7	6,3			
							6,7	7,7	8,4	6,8			
							7,2	8,2	9,1	7,3			
							7,8	8,8	9,8	7,9			
							8,4	9,4	10,4	8,5			

Продолжение табл. 49

Толщина (высота), длина или ширина поковок, мм														
800—1000		1000—1250			1250—1600			1600—2000			2000—2500			
Класс шероховатости (ГОСТ 2789—73)														
4—6	7	1—3	4—6	7	1—3	4—6	7	1—3	4—6	7	1—3	4—6	7	
2,5	2,9													
2,6	3,0													
2,7	3,1													
2,8	3,2													
3,0	3,4	2,6	3,2	3,6										
3,2	3,6	2,8	3,4	3,8	3,0	3,7	4,2	3,3	4,0	4,6	3,8	4,5	5,2	
3,4	3,8	3,0	3,6	4,0	3,2	3,9	4,4	3,5	4,2	4,8	4,0	4,7	5,4	
3,6	4,0	3,2	3,8	4,2	3,5	4,2	4,7	3,8	4,5	5,1	4,3	5,1	5,8	
3,8	4,2	3,5	4,1	4,5	3,8	4,5	5,1	4,1	4,8	5,4	4,6	5,4	6,1	
4,2	4,7	3,8	4,5	5,0	4,1	4,8	5,4	4,4	5,2	6,0	5,0	5,8	6,5	
4,5	5,0	4,1	4,8	5,3	4,4	5,2	5,9	4,7	5,5	6,3	5,4	6,2	6,9	
4,9	5,4	4,4	5,1	5,6	4,7	5,5	6,2	5,0	5,8	6,6	5,8	6,7	7,4	
5,4	6,0	4,8	5,6	6,2	5,0	5,8	6,5	5,3	6,1	6,9	6,2	7,1	7,8	
5,8	6,4	5,2	6,0	6,6	5,4	6,3	7,1	5,7	6,6	7,4	6,6	7,6	8,4	
6,3	7,0	5,6	6,5	7,2	5,8	6,8	7,6	6,1	7,1	8,0	7,0	8,0	8,8	
6,8	7,6	6,0	6,9	7,6	6,2	7,2	8,1	6,5	7,5	8,5	7,5	8,5	9,4	
7,3	8,1	6,5	7,5	8,3	6,7	7,7	8,6	6,9	7,9	8,9	8,0	9,0	10,0	
7,8	8,7	7,0	8,0	8,9	7,2	8,2	9,2	7,4	8,4	9,4	8,5	9,5	10,5	
8,3	9,3	7,5	8,5	9,5	7,7	8,7	9,7	7,9	8,9	9,9	9,2	10,2	11,2	
8,9	9,9	8,0	9,0	10	8,2	9,2	10,2	8,4	9,4	10,4	10	11	12	
9,5	10,5	8,6	9,6	10,6	8,8	9,8	10,8	9,0	10	11	11	12	13	

50 Допуски на стальные поковки, получаемые штамповкой

Допуски на межцентровое расстояние поковки (\pm мм)

Расстояние между центрами поковки, мм	Класс точности		Расстояние между центрами поковки, мм	Класс точности	
	I	II		I	II
До 60	0,20	0,30	Св. 600 до 800	1,50	2,50
Св. 60 до 100	0,25	0,50	Св. 800 до 1000	2,00	3,00
Св. 100 до 160	0,40	0,80	Св. 1000 до 1250	2,50	3,50
Св. 160 до 250	0,50	1,00	Св. 1250 до 1600	3,00	4,50
Св. 250 до 400	0,75	1,50	Св. 1600 до 2000	3,50	5,5
Св. 400 до 600	1,20	2,00	Св. 2000 до 2500	4,00	7,00

Допуски по несоосности¹ прошиваемых в поковках отверстий к внешним контурам, мм

Наибольший размер поковки, мм	Класс точности		Наибольший размер поковки, мм	Класс точности	
	I	II		I	II
До 60	0,5	0,8	Св. 250 до 360	1,6	2,5
Св. 60 до 100	0,6	1,0	Св. 360 до 500	2,0	3,0
Св. 100 до 160	0,8	1,5	Св. 500 до 630	2,5	3,5
Св. 160 до 250	1,2	2,0	Св. 630 до 800	3,0	4,0

¹ Несоосность в конце прошивки (со стороны выхода пуансона) может быть увеличена на 25%

Продолжение табл 50

Допускаемые изогнутость, неплоскостность и непрямолинейность
(плоские поверхности), а также радиальное биение
(цилиндрические поверхности), мм

Наибольший размер поковки, мм	Класс точности		Наибольший размер поковки, мм	Класс точности	
	I	II		I	II
До 60	0,25	0,40	Св 360 до 500	1,00	1,50
Св. 60 до 100	0,40	0,60			
Св. 100 до 160	0,50	0,80			
Св. 160 до 250	0,60	1,00			
Св 250 до 360	0,80	1,20			
			Св 500 до 630	1,50	2,00
			Св 630 до 800	1,80	2,50
			Св 800 до 1000	2,00	3 00

Поковки с наибольшим габаритным размером более 1000 мм подвергаются правке перед механической обработкой. Приведенные отклонения являются дополнением к допускам в табл 49

Допуски (\pm) на угловые
отклонения элементов

Допуски на радиусы закругления
поковки r и R , мм

Длина угловых элементов, мм	Класс точности		R и r , мм	Класс точности	
	I	II		I	II
До 25	1° 30'	3° 00'	До 3	1	2
			Св. 3 до 6	2	3
Св. 25 до 60	0° 45'	1° 30'	Св. 6 до 10	3	5
			Св. 10 до 16	5	8
Св. 60 до 100	0° 30'	0° 45'	Св. 16 до 25	8	12
			Св. 25 до 40	15	20
Св. 100 до 160	0° 15'	0° 30'	Св. 40 до 60	20	30
			Св 60 до 100	30	40
Св. 160	0° 10'	0° 15'			

Припуски на штампованные поковки из цветных сплавов, изготавливаемые на прессах и молотах, приведены в табл. 51.

51. Припуски на механическую обработку поковок из цветных сплавов, изготавливаемых на молотах и прессах, мм

Наибольший размер поковки, мм	Класс шероховатости поверхности (ГОСТ 2789-73),		
	3	6	8
До 100	1,25	1,75	2,00
100—160	1,50	2,00	2,25
160—250	1,75	2,25	2,50
250—360	2,00	2,50	2,75
360—500	2,25	2,75	3,00
500—630	2,50	3,00	3,25

52. Припуски на обработку отверстия протягиванием, мм

Номинальный диаметр отверстия, мм	Класс точности подготовки отверстия	
	До 4-го	Грубее 4-го
До 18	0,5	0,7
Св. 18 до 30	0,6	0,8
Св. 30 до 50	0,8	1,0
Св. 50 до 80	1,0	1,2
Св. 80 до 120	1,2	1,5
Св. 120 до 180	1,5	1,8

Примечание. Припуски даны на обработку отверстий длиной $\leq 3d$

ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ПРИПУСКИ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ

Промежуточным припуском называют слой материалов, необходимый для компенсации погрешностей при выполнении технологического перехода. Он определяется разностью размеров, получаемых на смежных предшествующем и выполняемом технологических переходах процесса обработки данной элементарной поверхности.

Минимальные припуски на механическую обработку плоскостей даны в табл. 53; припуски на обработку отверстий протягиванием, шлифованием, хонингованием и притиркой — в табл. 52; 54—56; припуск на шабровку плоскости и отверстия — в табл. 57.

В табл. 58 даны припуски на обработку пазов, в табл. 59 — на обработку торцов, в табл. 60 и 61 — на обработку зубьев.

Припуски на механическую обработку элементарных поверхностей различных деталей, изготавливаемых из цветных металлов и сплавов, приведены в табл. 62, 63.

Примеры расчета припусков расчетно-аналитическим методом даны в табл. 64, 65. Допуски на диаметры от 1 до 5000 мм приведены в табл. 66.

53. Минимальные припуски на обработку плоскостей, мм

Метод обработки		Наибольший размер обрабатываемой поверхности, мм							
		До 50	50—120	120—260	260—500	500—800	800—1250	1250—2000	2000—3150
Черновая и однократная лезвийным инструментом	Способ изготовления отливок в песчаной форме I класс точности	0,9	1,1	1,5	2,2	3,1	4,5	7,0	10,0
	II класс точности	1,0	1,2	1,6	2,3	3,2	4,6	7,1	11,0
	в кокиле	0,7	0,8	1,0	1,6	2,2	3,1	4,6	7,0
	в оболочковой форме	0,5	0,6	0,8	1,4	2,0	2,9	—	—
	по выплавляемой модели	0,3	0,4	0,5	0,8	—	—	—	—
Получистовая лезвийным инструментом после черновой		0,25	0,25	0,30	0,30	0,35	0,40	0,50	0,65
Чистовая лезвийным инструментом после получистовой		0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,20	0,20
Предварительное и однократное шлифование после чистовой обработки лезвийным инструментом		0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,08	0,08
Чистовое шлифование после предварительного		0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,05

54. Припуски на обработку отверстия шлифованием

Метод обработки отверстия	Припуск на диаметр в мм при размере отверстия, мм						
	6—10	10—18	18—30	30—50	50—80	80—120	120—180
Шлифование до термообработки	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5
Шлифование после термообработки: черновое	—	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
чистовое	—	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2

55. Припуски на обработку отверстий хонингованием, мм

Диаметр отверстия, мм	Материал детали	
	Сталь	Чугун
До 80	0,05	0,02
Св. 80 до 180	0,06	0,03
Св. 180	0,07	0,04

56. Припуски на притирку отверстий, мм

Диаметр отверстия, мм	Припуск на диаметр, мм
До 50	0,010
Св. 50 до 80	0,015
Св. 80 до 120	0,020

57. Припуски на шабрение

Плоскости						Отверстия			
Ширина плоскости, мм	Припуск на сторону (в мм) при длине плоскости, мм					Диаметр отверстия, мм	Припуск на диаметр (в мм) при длине отверстия, мм		
	100—500	500—1000	1000—2000	2000—4000	4000—6000		До 100	100—200	200—300
До 100	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	До 80	0,05	0,08	0,12
Св. 100 до 500	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	Св. 80 до 180	0,10	0,15	0,25
						Св. 180 до 360	0,15	0,25	0,35

58. Припуски на обработку пазов

Ширина паза, мм	Припуск на ширину паза в мм	
	Чистовое фрезерование после чернового	Шлифованные пазы у термически обработанных и необработанных деталей после чистого фрезерования
До 6	1,5	0,5
Св. 6 до 10	2,0	0,7
Св. 10 до 18	3,0	1,0
Св. 18 до 30	3,0	1,0
Св. 30 до 50	3,0	1,0
Св. 50 до 80	4,0	1,0
Св. 80 до 120	4,0	1,0

Примечание. Длина пазов до 80 мм, глубина до 60 мм

59. Припуски на обработку торцов, мм

Длина детали, мм	Наибольший размер торца					
	До 30	Св. 30 до 120	Св. 120 до 260	До 30	Св. 30 до 120	Св. 120 до 260
	Чистовая подрезка после черновой			Шлифование после черновой подрезки		
До 10	0,5	0,6	1,0	0,2	0,2	0,3
Св. 10 до 18	0,5	0,7	1,0	0,2	0,3	0,3
Св. 18 до 30	0,6	1,0	1,2	0,2	0,3	0,3
Св. 30 до 50	0,6	1,0	1,2	0,2	0,3	0,3
Св. 50 до 80	0,7	1,0	1,3	0,3	0,3	0,4
Св. 80 до 120	1,0	1,0	1,3	0,3	0,3	0,5
Св. 120 до 180	1,0	1,3	1,5	0,3	0,4	0,5
Св. 180 до 260	1,0	1,3	1,5	0,3	0,5	0,5

60. Припуски на обработку зубьев цилиндрических шестерен

Модуль, мм	Припуск на толщину зуба, мм	
	Чистовое нарезание после черного	Чистовое долбление
До 2	0,3—0,4	0,3—0,4
Св. 2 до 3	0,4—0,5	0,4—0,5
Св. 3 до 5	0,5—0,6	0,5—0,6
Св. 5 до 7	0,6—0,7	0,6—0,7
Св. 7 до 10	0,7—0,8	0,7—0,8

61. Припуски на шевингование и шлифование зуба, мм

Модуль, мм	Шевингование						Шлифование
	Диаметр зубчатого колеса, мм						
	До 50		Св. 50 до 100		Св. 100 до 200		
	Степень точности, ГОСТ 1643-70						
	7	8	7	8	7	8	
2	0,08	0,09	0,09	0,10	0,12	0,11	0,18
3	0,09	0,10	0,10	0,11	0,13	0,12	0,22
3,5	0,10	0,11	0,11	0,13	0,14	0,14	0,24
4	0,10	0,11	0,11	0,13	0,14	0,14	0,26
4,5	0,11	0,12	0,12	0,14	0,15	0,16	0,28
5	0,11	0,12	0,12	0,14	0,15	0,16	0,30
6	0,12	0,14	0,14	0,16	0,16	0,18	0,34

62. Припуски на механическую обработку деталей из цветных металлов и сплавов (Размеры в мм)

Втулки Отверстия, обрабатываемые в сплошном материале			
Метод обработки	Припуск на диаметр отверстия при его размере		
	До 18	18—50	50—80
Растачивание или зенкерование после сверления	0,80	1,00	1,10
Развертывание или предварительное шлифование после растачивания или зенкерования	0,20	0,25	0,30
Чистовое шлифование после предварительного; протягивание или точное развертывание после нормального развертывания	0,12	0,14	0,18
Гонкое развертывание или растачивание после протягивания или развертывания	0,10	0,12	0,14

Продолжение табл. 62

Метод обработки		Припуск на диаметр отверстия при его размере		
		До 18	18—50	50—80
Хонингование после точного развертывания или чистового растачивания		0,008	0,012	0,015
Притирка после тонкого развертывания или тонкого растачивания		0,006	0,007	0,008
Примечания: 1. Увод оси отверстия после сверления и начальное смещение оси не должны превышать величин, приведенных ниже				
Погрешность		Диаметр отверстия, мм		
		До 18	18—50	50—80
Увод оси отверстия на 1 мм длины, мм		1,3	0,8	0,5
Начальное смещение оси отверстия, мкм		20	27	35
2. Погрешность установки втулки в патроне при растачивании или зенковании не должна превышать в радиальном направлении 0,3 мм.				
3. Припуски на обработку литого отверстия приведены в табл. 63.				
<i>Внешние поверхности вращения</i>				
Метод обработки		Припуск на диаметр при номинальном размере		
		До 18	18—50	50—120
Черновое или однократное обтачивание отливок	Способ литья: В песчаные формы	1,70	1,80	2,00
	Центробежный	1,30	1,40	1,60
	В кокиль или оболочковые формы	0,80	0,90	1,00
	По выплавляемым моделям	0,50	0,60	0,70
	Под давлением	0,30	0,40	0,50
Чистовое обтачивание или предварительное шлифование после черного обтачивания		0,20	0,30	0,40
Чистовое шлифование после предварительного шлифования или шлифование после однократного обтачивания		0,10	0,15	0,20

Продолжение табл. 62

<i>Торцовые поверхности</i>					
Метод обработки		Припуск на торец при диаметре обрабатываемой поверхности, мм			
		До 18	18—50	50—80	80—120
Черновое или однократное подрезание отливок	Способ литья: В песчаные формы	0,80	0,90	1,00	1,10
	Центробежный	0,65	0,70	0,75	0,80
	В кокиль или оболочковые формы	0,40	0,45	0,50	0,55
	По выплавляемым моделям	0,25	0,30	0,35	0,40
	Под давлением	0,15	0,20	0,25	0,35
Чистовое подрезание после черногого		0,12	0,15	0,20	0,25
Шлифование после чистового подрезания		0,05	0,06	0,08	0,08

Примечание. Величина припуска дана на торец при совмещенных установочной и измерительной базах; при несовмещении баз припуск увеличивать на погрешность базирования, равную допуску на размер, связывающий установочную и измерительную базы

**63. Припуски на механическую обработку деталей
из цветных металлов и сплавов
(Размеры в мм)**

<i>Барабаны Литые отверстия</i>							
Метод обработки отверстия		Припуск на диаметр при его номинальном размере					
		До 30	30—50	50—80	80—120	120—180	180—260
Черновое растачива- ние или зенкерова- ние после литья	В песчаные формы	2,70	2,80	3,00	3,00	3,20	3,20
	Центробеж- ного	2,40	2,50	2,70	2,70	3,00	3,00
	В кокиль или обо- лочковые формы	1,30	1,40	1,50	1,50	1,60	1,60

Продолжение табл. 63

Метод обработки отверстия		Припуск на диаметр при его номинальном размере					
		До 30	30—50	50—80	80—120	120—180	180—260
Чистовое растачивание или протягивание после чернового растачивания		0,25	0,30	0,40	0,40	0,50	0,50
Протягивание, тонкое растачивание, нормальное развертывание или шлифование после чистового растачивания		0,10	0,15	0,20	0,20	0,25	0,25
Чистовое шлифование после предварительного шлифования		0,10	0,12	0,15	0,15	0,20	0,20
Точное развертывание после нормального		0,05	0,08	0,08	0,10	0,10	0,15
Притирка после точного развертывания		0,008	0,010	0,015	0,020	0,025	0,030
Пр и м е ч а н и е. Припуски на механическую обработку отверстия в сплошном материале приведены в табл. 62.							
<i>Внешние поверхности зрачения</i>							
Метод обработки поверхности		Припуск на диаметр при его номинальном размере					
		До 50	50—80	80—120	120—180	180—260	
Черновое обтачивание после литья	В песчаные формы	2,00	2,10	2,20	2,40	2,60	
	Центробежного	1,60	1,70	1,80	2,20	2,20	
	В кокиль или оболочковые формы	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	
Чистовое обтачивание или предварительное шлифование после чернового обтачивания		0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	
Предварительное шлифование после чистового обтачивания или тонкое обтачивание после чистового		0,15	0,20	0,25	0,25	0,30	

Продолжение табл. 63

Метод обработки поверхности		Припуск на диаметр при его номинальном размере				
		До 50	50—80	80—120	120—180	180—260
Чистовое шлифование после черного шлифования		0,10	0,15	0,15	0,20	0,20
Хонингование, отделка абразивным полотном или тонкое шлифование после чистового шлифования		0,010	0,015	0,020	0,025	0,030
Притирка, суперфиниширование или полирование после тонкого обтачивания		0,006	0,008	0,010	0,012	0,015
<i>Торцовые поверхности</i>						
Метод обработки поверхности		Припуск на торец * при диаметре обрабатываемой поверхности				
		До 50	50—80	80—120	120—180	180—260
Черновое или однократное подрезание после литья	В песчаные формы	0,80	0,90	0,10	0,30	1,50
	Центробежного	0,60	0,70	0,80	0,80	1,20
	В кокиль или оболочковые формы	0,40	0,45	0,50	0,60	0,70
Чистовое подрезание после черного		0,10	0,13	0,13	0,15	0,15
Шлифование после чистового подрезания		0,06	0,08	0,08	0,11	0,11

* См примечание к табл. 62

Диск $B \leq 0,25D$						
Внешние поверхности вращения						
Метод обработки поверхности		Припуск на диаметр при его номинальном размере				
		120—180	180—260	260—360	360—500	500—630
Черновое обтачивание после литья	В песчаные формы	2,70	2,80	3,20	3,60	4,00
	В кокиль или оболоч- ковые формы	1,30	1,40	1,60	1,80	2,00
Чистовое обтачивание или предварительное шлифо- вание после черного обтачивания		0,30	0,30	0,35	0,35	0,40
Шлифование после чисто- вого или однократного обтачивания		0,20	0,20	0,25	0,25	0,30
Тонкое обтачивание после чистового обтачивания		0,05	0,08	0,08	0,10	0,15
Тонкое шлифование после чистового шлифования		0,02	0,025	0,03	0,035	0,04
Торцовые поверхности						
Метод обработки поверхности		Припуск на торец при диаметре обрабатываемой поверхности				
		120—180	180—260	260—360	360—500	500—630
Черновое или одно- кратное подрезание после литья	В песчаные формы	1,10	1,30	1,50	1,80	2,10
	В кокиль или оболоч- ковые формы	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
Чистовое подрезание после чернового		0,15	0,15	0,17	0,17	0,20
Шлифование после чисто- вого подрезания		0,11	0,11	0,13	0,13	0,15

Продолжение табл. 63

<i>Поверхности бобышек и приливов</i>							
Метод обработки поверхности		Припуск на сторону при наибольшем размере обрабатываемой поверхности					
		До 30	30—50	50—80	80—120		
Цекование, черновое фрезерование, строгание или подрезание после литья	В песчаные формы	0,60	0,65	0,70	0,75		
	В кокиль или оболочковые формы	0,30	0,35	0,40	0,45		
Чистовое фрезерование, строгание или подрезание после чернового фрезерования, строгания или подрезания		0,08	0,10	0,13	0,17		
Корпусные детали							
<i>Плоскости</i>							
Метод обработки поверхности		Припуск на сторону при наибольшем размере обрабатываемой поверхности					
		До 50	50—120	120—180	180—260	260—360	360—500
Черновое или однократное фрезерование или строгание после литья	В песчаные формы	0,65	0,75	0,80	0,85	0,95	1,10
	В кокиль или оболочковые формы	0,35	0,45	0,50	0,55	0,65	0,85
	По выплавляемым моделям	0,25	0,32	0,38	0,46	0,56	0,70
	Под давлением	0,15	0,25	0,30	0,35	0,45	0,60
Чистовое строгание или фрезерование после чернового строгания или фрезерования		0,07	0,09	0,11	0,14	0,18	0,23
Шлифование после чистового строгания или фрезерования		0,04	0,06	0,07	0,09	0,12	0,15

Продолжение табл. 63

Метод обработки поверхности		Припуск на сторону при наибольшем размере обрабатываемой поверхности					
		500—630	630—800	800—1090	1000—1250	1250—1600	1600—2000
Черновое или однократное фрезерование или строгание после литья	В песчаные формы	1,25	1,40	1,60	1,80	2,10	2,50
	В кокиль или оболочковые формы	0,95	1,10	1,30	1,50	—	—
	По выплавляемым моделям	0,83	1,00	—	—	—	—
	Под давлением	0,75	—	—	—	—	—
Чистовое строгание или фрезерование после черного строгания или фрезерования		0,30	0,37	0,45	0,55	0,65	0,80
Шлифование после чистового строгания или фрезерования		0,20	0,25	0,30	0,38	0,48	0,60
Пр и м е ч а н и е. Припуски на внешние поверхности вращения см. выше.							
<i>Литые отверстия</i>							
Метод обработки поверхности		Припуск на диаметр при его номинальном размере					
		До 50	50—120				
Черновое растачивание или венкерование после литья	В песчаные формы	2,80	3,00				
	В кокиль или оболочковые формы	1,40	1,50				
	По выплавляемым моделям	0,80	0,90				
	Под давлением	0,40	0,45				
Чистовое растачивание после черного растачивания или венкерования		0,30	0,40				

Продолжение табл. 63

Метод обработки поверхности		Припуск на диаметр при его номинальном размере				
		До 50		50—120		
Тонкое растачивание, нормальное развертывание или предварительное шлифование после чистового		0,15		0,20		
Тонкое развертывание после нормального или чистового шлифования после предварительного		0,12		0,18		
<i>Торцовые поверхности</i>						
Метод обработки поверхности		Припуск на торец при диаметре обрабатываемой поверхности				
		До 30	30—50	50—80	80—120	120—180
Черновое или однократное подрезание после литья	В песчаные формы	0,65	0,70	0,80	0,90	1,00
	В кокиль или оболочковые формы	0,35	0,40	0,45	0,55	0,65
	По выплавляемым моделям	0,25	0,30	0,35	0,45	0,55
	Под давлением	0,15	0,20	0,25	0,35	0,45
Чистовое подрезание после чернового		0,08	0,10	0,13	0,17	0,23
Шлифование после чистового подрезания		0,04	0,05	0,07	0,09	0,12

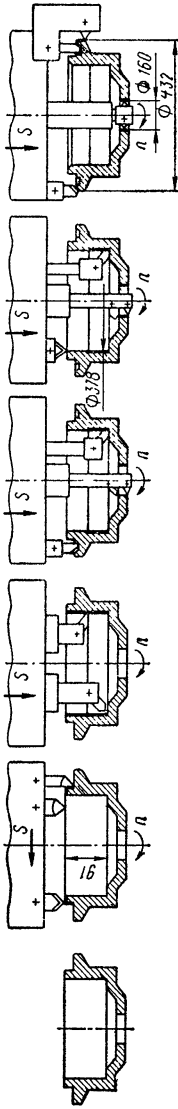
<i>Литые окна</i>						
Метод обработки поверхности		Припуск на диаметр при размере окна				
		До 50	50—80	80—120	120—180	180—260
Предварительное фрезерование или долбление по контуру после литья	В песчаные формы	1,30	1,40	1,50	1,60	1,80
	В кокиль или оболочковые формы	0,70	0,80	0,90	1,00	1,20
	По выплавляемым моделям	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65
	Под давлением	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
Чистовое фрезерование или долбление по контуру после предварительной обработки		0,35	0,40	0,45	0,55	0,65
<i>Поверхности бобышек, платиков и приливов</i>						
Метод обработки поверхности		Припуск на сторону при наибольшем размере обрабатываемой поверхности				
		До 18	18—50	50—80	80—120	
Цекование, черновое или однократное фрезерование, строгание или подрезание после литья	В песчаные формы	0,60	0,65	0,70	0,75	
	В кокиль или оболочковые формы	0,30	0,35	0,40	0,45	
	По выплавляемым моделям	0,20	0,25	0,30	0,35	
	Под давлением	0,12	0,15	0,20	0,25	
Чистовое фрезерование, строгание или подрезание после предварительной обработки		0,07	0,10	0,13	0,17	

Продолжение табл. 63

Методы обработки поверхности		Крышки Плоскости						
		Припуск на одну сторону при наибольшем размере обрабатываемой поверхности						
		До 50	50—80	80—120	120—180	180—260	260—360	360—500
Черновое или однократное фрезерование или строгание после литья	В песчаные формы	0,80	0,90	1,00	1,20	1,40	1,70	2,10
	В кокиль или оболочковые формы	0,60	0,60	0,70	0,90	1,10	1,40	1,80
	По выплавляемым моделям	0,40	0,50	0,60	0,80	1,00	1,30	1,70
	Под давлением	0,30	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10	1,30
Чистовое строгание или фрезерование после черновой обработки		0,08	0,09	0,11	0,14	0,18	0,23	0,30
Шлифование после «чистой» обработки		0,05	0,06	0,07	0,09	0,12	0,15	0,20
Методы обработки поверхности		Припуск на одну сторону при наибольшем размере обрабатываемой поверхности						
		500—630	630—800	800—1000	1000—1250	1250—1600	1600—2000	
Черновое или однократное фрезерование или строгание после литья	В песчаные формы	2,50	3,00	3,60	4,20	5,00	6,00	
	В кокиль или оболочковые формы	2,20	2,60	3,00	3,50	4,00	4,50	
	По выплавляемым моделям	2,10	2,50	—	—	—	—	
	Под давлением	1,70	—	—	—	—	—	
Чистовое строгание или фрезерование после черновой обработки		0,37	0,45	0,55	0,65	0,80	1,00	
Шлифование после чистой обработки		0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ПРИПУСКОВ РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

64. Расчет припусков на обработку и предельных размеров по технологическим переходам для тормозного барабана



Заготовка — отливка I класса точности, ГОСТ 1855—55
 Материал — серый чугун СЧ 15-32
 Токарная обработка на шестипиндельном полуавтомате

Технологические операции и переходы обработки элементарной поверхности	Элементы припуска, мкм			Расчетный припуск $Z_{\text{шт}}$, мкм	Расчетный размер, мм	Допуск, мкм	Предельные размеры, мм		Предельные значения припусков, мкм				
	R_2	T	ρ				ϵ_H	наиб.	наим.	наиб	наим.		
Торец 91 — 0,28 мм													
Заготовка	600		302*	—	92,884	1200	94,1	92,9					
Точение черновое	50	—		1,00	90,88	460	91,34	90,88	2760	2020			
Чистовое					90,77	230	91,00	90,77	340	110			

Продолжение табл. 64

Технологические операции и переходы обработки элементарной поверхности	Элементы припуска, мкм			Расчетный припуск $\frac{1}{2}z_{\text{шп}}$, мкм	Расчетный размер, мм	Допуск, мкм	Предельные размеры, мм		Предельные значения припусков, мкм		
	R_z	T	ρ				$\epsilon_{\text{ш}}$	наиб.	наим.	наиб.	наим.
Внутренний диаметр 378 + 0,38 мм											
Заготовка	600		800 ***	—	375,233	2000	375	373			
Расстояние: черное	50	—	12	300	378,142	760	378,14	377,38	4380	3140	
чистовое	—	—	—	68	378,38	380	378,38	378,00	620	240	
Наружный диаметр 437 — 0,76 мм											
Заготовка	600		—	—	433,04	2000	436	434			
Точение однократное	—	—	—	300	431,24	760	432	431,24	4000	2760	
Внутренний диаметр 160 + 0,063 мм											
Заготовка	600		800	—	156,775	1600	156,7	155,1			

Продолжение табл. 64

Технологические операции и переходы обработки элементарной поверхности	Элементы припуска, мкм			Расчетный припуск $z_{\text{тип}}$, мкм	Расчетный размер, мм	Допуск, мкм	Предельные размеры, мм		Предельные значения припусков, мкм
	R_z	T	ρ				наиб.	наим.	
Расгачивание: черновое	50	—	12	2·1455	159,685	530	159,68	159,15	4050
чистовое	20	—	—	2·119	159,923	260	159,92	159,66	510
тонкое	—	—	—	2·70	160,063	63	160,063	160,00	340

* Пространственное отклонение — результат коробления отливки; удельная величина коробления принята 0,7 мкм/мм, что на диаметре 432 мм дает общее коробление отливки

$$\rho = \Delta_k D = 0,7 \cdot 432 = 302 \text{ мкм.}$$

Остаточное коробление $\rho_{\text{ост}}$ после черновой обработки

$$\rho_{\text{ост}} = \sqrt{A [t^2 - (t - \rho)^2]} =$$

$$= 1,5 \cdot \sqrt{0,93 \cdot 0,9 - (0,93 - 0,3) \cdot 0,9} = 4,3 \text{ мкм,}$$

где

$$A = c_p \sqrt{HVB} = 0,045 \cdot 0,30 \cdot 75 \cdot 1801,3 = 15,5.$$

Податливость системы станок—заготовка—инструмент W 1 мкм/кр.

** Припуск рассчитан по формуле

$$z_{\text{мин}} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \epsilon_{y_i}$$

так как векторы ρ и ϵ имеют одно направление.

*** Величина пространственного отклонения — смещение оси отверстия в процессе формовки, принята равной

величине поля допуска на толщину стенки, т. е. 800 мкм (см. ГОСТ 1855—55). При черновом течении

$$\rho_{\text{ост}} = \sqrt{A [t^2 - (t - \rho)^2]} = 1,5 \cdot \sqrt{0,93 \cdot 0,9 - (0,93 - 0,8) \cdot 0,9} = 12 \text{ мкм.}$$

$$\text{где } A = 0,045 \cdot 0,30 \cdot 75 \cdot 1801,3 = 15,5.$$

При последующей обработке смещением оси отверстия из-за малой величины пренебрегаем.

**** Припуск рассчитан по формуле

$$z_{\text{мин}} = 2 \left(Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \epsilon_{y_i}^2} \right),$$

так как предвидеть направление векторов ρ и ϵ трудно.

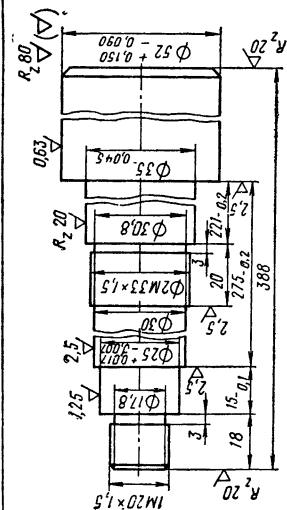
***** Под первый технологический переход величина погрешности установки $\epsilon_y = 300$ мкм. Под второй переход величина погрешности установки определена по формуле

$$\epsilon'_y = 0,06 \epsilon_y + \epsilon_{\text{инд}} = 0,06 \cdot 300 + 50 = 68 \text{ мкм.}$$

Под третий переход погрешность установки принята равной только погрешности индексации при повороте стола

станка, т. е. $\epsilon_y = \epsilon_{\text{инд}} = 50$ мкм

65 Расчет припусков на обработку, номинальных размеров поковки и размеров исходной заготовки для вала



Заготовка — поковка на ВРКМ
Материал — сталь 50

С учетом технологических возможностей ВРКМ, поковка запроектирована четырехступенчатой с наибольшим обжатием по диаметру 17 мм (52 — 35 = 17) и наименьшим 2 мм (35 — 33 = 2 мм). Расчет произведен из следующих условий: $n = 30$ об/мин, $R_0 = 30$ мм (диапазон диаметровковки 30—55 мм). Исходная заготовка — холоднотянутый прокат

Определение диаметров поковки

№ ступень	Диаметр D , мм	Класс шероховатости ГОСТ 2789-73	Расчетные данные для определения номинальных диаметров поковки, мм							Данные для чертежа поковки		Примечание		
			$D_{ном}$	K_2	T	σ_1	σ_2	$\rho_{сум}$	Нижнее отклонение	Дополнительный припуск	$D_{пок}$ расчетный		$D_{пок}$ принятая	$\Delta D_{пок}$, мм
1	52	8	52	0,045	0,52	0,080	0,30	0,310	0,2	0,2	54,55	54,6	$\pm 0,2$	Диаметр исходной заготовки принимаем равным 50 — 0,4
2	35G	6	35	0,105	0,35	0,522	0,30	0,502	0,2	—	37,514	37,6	$\pm 0,2$	
3	2M133	6	33	0,107	0,33	0,630	0,30	0,590	0,2	—	35,654	35,6	$\pm 0,2$	
4	25	7	25	0,100	0,25	0,664	0,30	0,734	0,2	0,2	27,866	25,0	$\pm 0,2$	

Продолжение табл. 65

№ ступени		Длина, мм		Класс шероховатости ГОСТ 2789-73		Расчетные данные для определения минимальных размеров, мм										Данные для чертежа поковки		Примечание
						$l_{\text{ном}}$	R_z	T	ρ_f	ρ_g	$\rho_{\text{сум}}$	Нижнее отклонение	Дополнительный припуск	Длина $l_{\text{пок}}$		$\Delta l_{\text{пок}}$, мм		
														расчетная	принятая			
1	80	6	80	0,1	0,8	$0,05 \frac{40}{52}$	4,0	$\frac{\text{пр. } 4,0}{\text{лев. } 0,05}$	1,00	—	86,8	87	$\pm 1,0$	Исходная				
2	$221 - \frac{0,2}{0,2}$	6	221	0,3	0,5	$0,05 \frac{261}{35}$	—	0,400	1,00	—	223,2	224	$\pm 1,0$	Промежуточная				
3	54	6	54	0,3	0,5	$0,05 \frac{315}{33}$	—	0,475	1,00	—	56,275	57	$\pm 1,0$	Промежуточная				
4	33	5	33	0,2	0,3	$0,05 \frac{332}{25}$	1,5	1,63	2,0	—	37,13	38	$\begin{matrix} -2 \\ +16 \end{matrix}$	Концевая				

Определение линейных размеров поковки

Длины заготовки для каждой ступени с учетом номинальных припусков рассчитывают по формуле

$$l'_{\text{заг}} = \frac{l}{4z} + 1 + \frac{l}{d_{\text{пок}}}$$

где $d_{\text{пок}}$ — номинальный расчетный диаметр ступени поковки; l — расчетная длина ступени; z — величина напуска. Для данного случая:

$$l'_{\text{заг}} = \frac{88}{4 \cdot 0,2} + 1 + \frac{222}{4 \cdot 8,7} = 127 \text{ мм};$$

$$l''_{\text{заг}} = \frac{56}{4 \cdot 9,7} + 1 + \frac{34}{4 \cdot 13,5} = 12 \text{ мм}$$

Точность (допуски) концов ступеней за счет погрешности исходной заготовки определяют по формуле

$$\delta = \frac{26}{d_{\text{заг}}} \cdot \frac{l}{4z} \cdot l'_{\text{заг}} = q l'_{\text{заг}}$$

где $\delta_{\text{заг}}$ — допуск на размер исходной заготовки; $d_{\text{заг}}$ — номинальный размер заготовки; z — напуск.

Подставив известные данные, получим

$$q' = \frac{2 \cdot 0,4}{55 - 4 \cdot 0,2} = 0,0162; \delta' = 0,016 \cdot 86,5 = 1,38 \text{ мм},$$

$$q'' = \frac{2 \cdot 0,4}{55 - 4 \cdot 8,7} = 0,0435; \delta'' = 0,044 \cdot 127 = 5,59 \text{ мм};$$

$$q''' = \frac{2 \cdot 0,4}{55 - 4 \cdot 9,7} = 0,0545; \delta''' = 0,054 \cdot 28 = 1,51 \text{ мм};$$

$$q'''' = \frac{2 \cdot 0,4}{55 - 4 \cdot 13,5} = 0,4000; \delta'''' = 0,4000 \cdot 12 = 4,80 \text{ мм}.$$

Точность концевой ступени за счет погрешности резки определяют по формуле

$$\delta_p = \left(\frac{d_{\text{заг}}}{d_{\text{пок}}} \right)^2 \delta_{\text{рез}}$$

где $\delta_{\text{рез}}$ — допуск на резку исходной заготовки. Подставив известные данные, получим

$$\delta_p = \left(\frac{55}{28} \right)^2 \cdot 1,5 = 3,8 = \pm 1,9 \text{ мм}.$$

Торец диаметром 52 мм принимаем за исходный и назначаем допуск на длину его ступени ± 1 мм. Для торца диаметром 25 мм допуск на длину его ступени будет $(6,38 + 1,51 + 4,8) = 11,9$ мм. С учетом погрешности резки допуск составит $11,9 \pm 1,9$. Скорректируем данные концевой ступени этого же диаметра с учетом допуска. Длина ее будет

$$l''''_{\text{заг}} = \frac{34 + 14}{4 \cdot 13,5} + 1 + \frac{1}{28,0} = 16,4; \delta'''' = 0,4 \cdot 16,4 = 6,5 \text{ мм}.$$

Скорректируем данные 4-й ступени еще раз. Имеем

$$l''''_{\text{заг}} = \frac{34 + 16}{4 \cdot 13,5} = 17; \delta'''' = 0,4 \cdot 17 = 6,8 \text{ мм}.$$

Поскольку данные по допуску (6,8 мм) значительно отличаются от предыдущего значения (6,5 мм) округляя полученные данные, примем допуск на длину 4-й ступени равным ± 16 .

Общая длина исходной заготовки определяется как сумма длин каждой ступени, т. е.

$$l'_{\text{заг}} = l' + l'' + l''' + l''''$$

Таким образом,

$$l_{\text{заг}} = 86,5 + 127 + 28 + 17 = 258,5 \pm 0,75 \text{ мм};$$

диаметр исходной заготовки $55 - 0,4$ мм.

86. Допуски на диаметры, мм

Класс точности	Фенне О Зона	Отклоне- ние	Номинальный диаметр, мм													
			От 1 до 3	Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 280	Св. 280 до 360	Св. 360 до 500		
1-й	A ₁	Верхнее	6	8	9	11	13	15	18	21	24	27	30	35		
			Вал	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	22	25	
2-й	A	Верхнее	10	13	16	19	23	27	30	35	40	45	50	60		
			Вал	6	8	10	12	14	17	20	23	27	30	35	40	
2a	A _{2a}	Верхнее	14	18	22	27	33	39	46	54	63	73	84	95		
			Вал	9	12	15	18	21	25	30	35	40	47	54	62	
3-й	A ₃	Верхнее	20	25	30	35	45	50	60	70	80	90	100	120		
			Вал	20	25	30	35	45	50	60	70	80	90	100	120	
3a	A _{3a}	Верхнее	40	48	58	70	84	100	120	140	160	185	215	250		
			Вал	40	48	58	70	84	100	120	140	160	185	215	250	
4-й	A ₄	Верхнее	60	80	100	120	140	170	200	230	260	300	340	380		
			Вал	60	80	100	120	140	170	200	230	260	300	340	380	
5-й	A ₅	Верхнее	120	160	200	240	280	340	400	460	530	600	680	760		
			Вал	120	160	200	240	280	340	400	460	530	600	680	760	
7-й	A ₇	Верхнее	250	300	360	430	520	620	740	870	1 000	1 150	1 350	1 550		
			Вал	250	300	360	430	520	620	740	870	1 000	1 150	1 350	1 550	
8-й	A ₈	Верхнее	400	480	580	700	840	1 000	1 200	1 400	1 600	1 900	2 200	2 500		
			Вал	400	480	580	700	840	1 000	1 200	1 400	1 600	1 900	2 200	2 500	
9-й	A ₉	Верхнее	600	750	900	1 100	1 300	1 600	1 900	2 200	2 500	2 900	3 300	3 800		
			Вал	600	750	900	1 100	1 300	1 600	1 900	2 200	2 500	2 900	3 300	3 800	

Продолжение табл. 66

Класс точности	Обозначение	Отклонение	Номинальный диаметр, мм										
			Св. 500 до 630	Св. 630 до 800	Св. 800 до 1000	Св. 1000 до 1250	Св. 1250 до 1600	Св. 1600 до 2000	Св. 2000 до 2500	Св. 2500 до 3150	Св. 3150 до 4000	Св. 4000 до 5000	
1-й	Отверстие	A ₁	45	50	55	60	65	75	85	100	110	120	
	Вал	B ₁	30	35	40	45	55	60	70	80	90		
2-й	Отверстие	A	70	80	90	100	110	120	130	150	170	190	
	Вал	B	45	50	55	60	65	75	85	100	110	120	
2а	Отверстие	A _{2а}	110	120	130	150	170	190	210	230	260	300	
	Вал	B _{2а}	70	80	90	100	110	120	130	150	170	190	
3-й	Отверстие	A ₃	140	150	170	200	220	250	280	300	350	400	
	Вал	B ₃	140	150	170	200	220	250	280	300	350	400	
3а	Отверстие	A _{3а}	280	300	350	400	450	500	550	600	700	800	
	Вал	B _{3а}	280	300	350	400	450	500	550	600	700	800	
4-й	Отверстие	A ₄	450	500	550	600	650	750	900	1 000	1 100	1 200	
	Вал	B ₄	450	500	550	600	650	750	900	1 000	1 100	1 200	

Продолжение табл. 66

Класс точности	Отклонение	Номинальный диаметр, мм									
		Св. 500 до 630	Св. 630 до 800	Св. 800 до 1000	Св. 1000 до 1250	Св. 1250 до 1600	Св. 1600 до 2000	Св. 2000 до 2500	Св. 2500 до 3150	Св. 3150 до 4000	Св. 4000 до 5000
5-й	Отверстие A ₅	900	1 000	1 100	1 200	1 300	1 500	1 800	2 000	2 200	2 500
	Вал B ₅	900	1 000	1 100	1 200	1 300	1 500	1 800	2 000	2 200	2 500
7-й	Отверстие A ₇	1 800	2 000	2 200	2 400	2 600	3 000	3 500	4 000	4 500	5 000
	Вал B ₇	1 800	2 000	2 200	2 400	2 600	3 000	3 500	4 000	4 500	5 000
8-й	Отверстие A ₈	2 800	3 000	3 500	4 000	4 500	5 000	5 500	6 000	7 000	8 000
	Вал B ₈	2 800	3 000	3 500	4 000	4 500	5 000	5 500	6 000	7 000	8 000
9-й	Отверстие A ₉	4 500	5 000	5 500	6 000	6 500	7 000	8 000	9 000	10 500	12 000
	Вал B ₉	4 500	5 000	5 500	6 000	6 500	7 000	8 000	9 000	10 500	12 000
10-й	Отверстие A ₁₀	7 000	8 000	9 000	10 000	11 000	12 000	13 000	15 000	17 000	19 000
	Вал B ₁₀	7 000	8 000	9 000	10 000	11 000	12 000	13 000	15 000	17 000	19 000
11-й	Отверстие A ₁₁	11 000	12 000	13 000	15 000	17 000	19 000	21 000	23 000	26 000	30 000
	Вал B ₁₁	11 000	12 000	13 000	15 000	17 000	19 000	21 000	23 000	26 000	30 000

Примечания: 1. Нижнее отклонение для отверстий и верхнее отклонение для валов равно 0.

2. Верхнее отклонение для отверстий принимать в плюс, нижнее отклонение для валов — в минус.

3. Отклонения основных отверстий и валов даны по системе ОСТ для размеров до 500 мм и ГОСТ для размеров свыше 500 мм.

ПРИМЕРЫ НАЗНАЧЕНИЯ ПРИПУСКОВ И ДОПУСКОВ ПО ГОСТАМ

Пример 1. Размеры обработанной заготовки указаны в скобках на рис. 4 и 5. Припуски и предельные отклонения назначаются по табл. 33.

Поковка (рис. 4) — вал I группы точности. На наружный диаметр 300 мм припуск и предельное отклонение 20 ± 4 мм. Размер поковки $300 + 20 \pm 4 = 320 \pm 4$ мм, на длину 3500 мм припуск и предельное отклонение 60 ± 12 мм. Размер поковки $3500 + 60 \pm 12 = 3560 \pm 12$ мм.

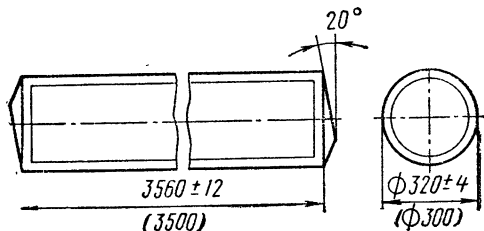


Рис. 4

Поковка (рис. 5) — вал II группы точности. На наружный размер 250 мм припуск и предельное отклонение 21 ± 7 мм. Размер поковки $250 + 21 \pm 7 = 271 \pm 7$ мм. На наружный размер 375 мм припуск и предельное отклонение 25 ± 9 мм. Размер поковки $375 + 25 \pm 9 = 400 \pm 9$ мм. На длину 2500 мм припуск и предельное отклонение 75 ± 27 мм. Размер поковки $2500 + 75 \pm 27 = 2575 \pm 27$ мм.

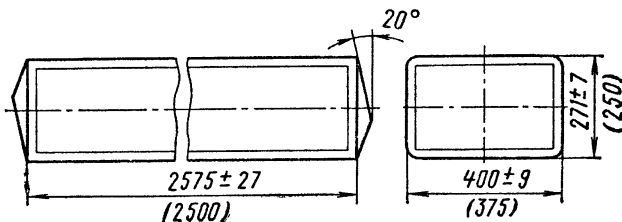


Рис. 5

Пример 2. Размеры обработанной заготовки указаны в скобках на рис. 6 и 7. Припуски и предельные отклонения назначаются по табл. 41.

Поковка (рис. 6) — диск с отверстием. На наружный диаметр 500 мм припуск и предельное отклонение 19 ± 7 мм. Размер поковки $500 + 19 \pm 7 = 519 \pm 7$ мм. На внутренний диаметр 150 мм¹. Припуск и предельное отклонение 25 ± 7 мм. Размер $150 - 25 \pm 7 = 125 \pm 7$ мм. На высоту 170 мм припуск и предельное отклонение 16 ± 5 мм. Размер поковки $170 + 16 \pm 5 = 186 \pm 5$ мм.

Поковка (рис. 7) — пластина с отверстием. На наибольший размер сечения 350 мм припуск и предельное отклонение 15 ± 5 мм. Размер поковки $350 + 15 \pm 5 = 365 \pm 5$ мм. На наименьший размер сечения 270 мм припуск и предельное отклонение 15 ± 5 мм. Размер поковки $270 + 15 \pm 5 = 285 \pm 5$ мм. На высоту 120 мм припуск и предельное отклонение 12 ± 4 мм. Размер поковки $120 + 12 \pm 4 = 132 \pm 4$ мм.

¹ Отверстие в поковке выполнимо, так как $\frac{H'}{d_{пр}} = \frac{186}{125} = 1,49 < 3$.

На внутренний диаметр припуск и предельное отклонение 21 ± 5 мм*. Размер поковки $130 - 21 \pm 5 = 109 \pm 5$ мм.

Пример 3. Размеры обработанной заготовки указаны на рис. 8, а. Деталь — шестерня с отверстием. Поковка — штамповка на ковочно-штам-

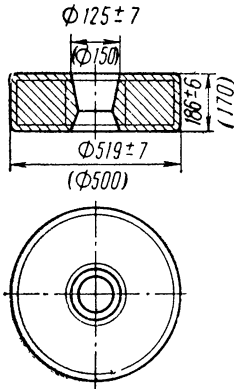


Рис. 6

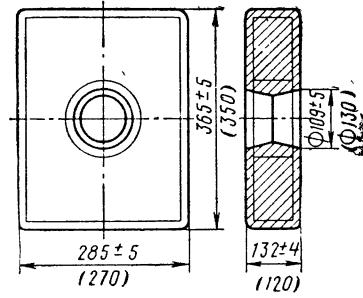


Рис. 7

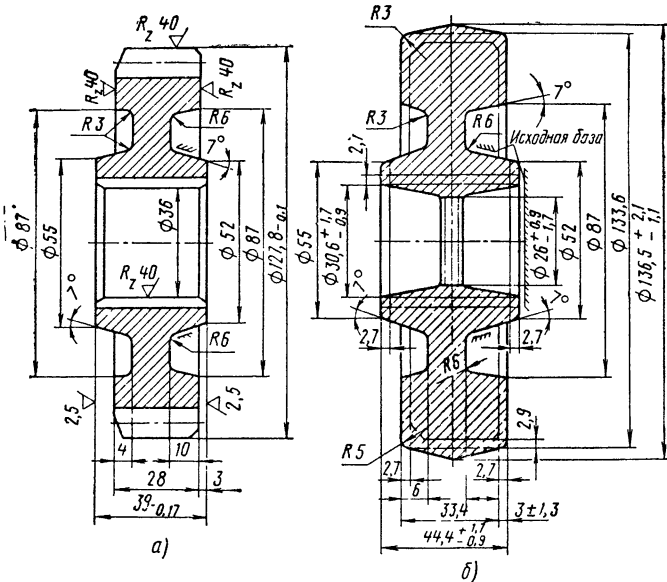


Рис. 8

повочном прессе. Точность изготовления — II класс. Материал детали — легированная сталь. Припуски и предельные отклонения назначают с учетом следующих факторов: степени сложности поковки C_2 , группы стали М2, нагрев заготовки индукционный массы поковки 3,3 кг. Припуски на обработку

* Отверстие в поковке выполнимо, так как $\frac{H'}{d_{\text{пр}}} = \frac{1,02}{109} = 1,21 < 3$ (см. прим. к табл. 41)

(табл. 49), на наружный диаметр 127,8—2,9 мм. Размер поковки 127,8 + 2 2,9 = 133,6 мм. С учетом штамповочного уклона 5° на наружный диаметр размер поковки 133,6 + 0,5 × 33,4 tg 5° = 136,5 мм. На обработку отверстия 36—2,7 мм. Размер поковки 36 + 2·2,7 = 30,6. С учетом штамповочного уклона 7° на наружный диаметр размер поковки 30,6 — 0,5·44,4·tg 7° = 26 мм.

На торцовые поверхности 39—2,7 и 28—2,7. Размеры поковки соответственно 39 + 2·2,7 = 44,4 мм и 28 + 2·2,7 = 33,4 мм. Допуски на размеры поковки (табл. 47):

на наружный диаметр 136,5 $^{+2,1}_{-1,1}$ мм; на внутренний диаметр 26 $^{+0,9}_{-1,7}$ мм; на торцовые поверхности 44,4 $^{+1,7}_{-0,9}$ мм и 33,4 $^{+1,7}_{-0,9}$ мм. Однако учитывая, что исходной базой является правая торцовая поверхность, размер 33,4 мм оставляем открытым, а на размер 3 мм устанавливаем допуск из расчета среднего допуска, т. е. $\frac{\pm 1,7 \pm 0,9}{2} = \pm 1,3$ мм. Тогда будем иметь размер 3 мм с допуском $\pm 1,3$ мм, т. е.

3 ± 1,3 мм. Смещение по линии разреза штампа 0,7 (см. табл. 47). Несоосность отверстия диаметром 26 мм относительно диаметра 52 мм не более 1,5 мм. Заусенцы по периметру среза 1,0 мм (см. табл. 47). Чертеж поковки представлен на рис. 8, б.

К ВОПРОСУ О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПРИПУСКОВ НА ОБРАБОТКУ

Величина припуска наряду со скоростью резания и подачей определяет условия обработки элементарных поверхностей детали, качество поверхностного слоя детали после обработки, технико-экономические показатели процесса обработки, поэтому необходимость назначения технически обоснованных величин припуска очевидна [12].

На протяжении многих лет делались неоднократные попытки создать методы определения припусков на обработку. С 1928 по 1953 г. опубликованы работы Макаревича В., Черепова С., Молянова И., Пушкова П. Ф., Димосфенова С. Н., Кована В. М., Соколовского А. П., Емельяненко П. Т. и Панюшкина Н. В., Плоткина И. В. и др. Обзор этих работ приведен в [12].

Творческое обоснование расчетно-аналитического метода определения припусков и промежуточных размеров и необходимые для расчета справочные материалы даны Кованом В. М. в работе [12]. Основные идеи изложенного здесь метода получили всеобщее одобрение и используются во всех последующих предложениях по расчету припусков как автора, так и других исследователей.

Установим основные расчетные соотношения Кована В. М. для определения промежуточных размеров в наиболее общем случае двусторонней обработки поверхностей вращения. Рассмотрим произвольное поперечное сечение цилиндрической поверхности (рис. 9). Действительный припуск на сторону $z_{дi}$ определим как расстояние между соответствующими точками исходного («заготовки» на предшествующем переходе обработки) и обработанного («детали» на выполняемом технологическом переходе) профиля в направлении выдерживаемого размера. Для произвольного углового положения имеем

$$z_{дi} = r_{i-1} \cos \lambda - r_i + \varepsilon_{pi} \cos \varphi, \quad (1)$$

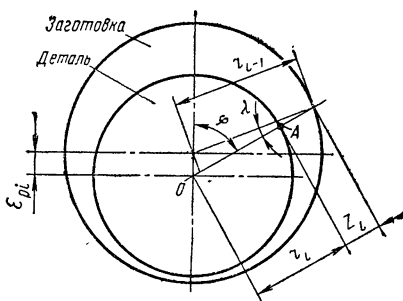


Рис. 9

где r_{i-1} , r_i — радиусы поверхностей соответственно на предшествующем ($i-1$) и выполняемом (i) переходах обработки; e_{pi} — отклонение взаимного расположения поверхности на предшествующем переходе относительно поверхности на выполняемом переходе обработки. e_{pi} охватывает пространственные отклонения r_{i-1} взаимосвязанных поверхностей обрабатываемой детали, получившиеся на предшествующем переходе, и погрешность установки e_i на выполняемом переходе.

Так как $e_{pi} \ll r_{i-1}$, то $\cos \lambda \approx 1$ и формула (1) примет вид

$$z_{di} = r_{i-1} - r_i + e_{pi} \cos \varphi. \quad (2)$$

Перейдем от припуска на сторону z_{di} к расчетной величине — припуску на диаметр $2z_{di}$, учитывая при этом, что $d_{i-1} = 2r_{i-1}$ и $d_i = 2r_i$, из формулы (2) получим

$$2z_{di} = d_{i-1} - d_i + 2e_{pi} \cos \varphi. \quad (3)$$

Определим значения наибольшего $2z_{di \text{ нб}}$ и наименьшего $2z_{di \text{ нм}}$ припусков на диаметр по методу максимума-минимума. Эти значения характерны для плоскости наибольшего взаимного смещения (эксцентриситета) исходного и обработанного профилей деталей, где φ равно 0° или 180° и $\cos \varphi$ равен соответственно $+1$ или -1 , тогда

$$\left. \begin{aligned} 2z_{di \text{ нб}} &= d_{i-1 \text{ нб}} - d_{i \text{ нм}} + 2e_{pi \text{ нб}}, \\ 2z_{di \text{ нм}} &= d_{i-1 \text{ нм}} - d_{i \text{ нм}} - 2e_{pi \text{ нб}}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Средние значения будем обозначать черточкой над индексом. Средний припуск на диаметр $2\bar{z}_{di}$ можно определить по соотношению

$$2\bar{z}_{di} = 2z_{di \text{ нм}} + 0,5(2z_{di \text{ нб}} - 2z_{di \text{ нм}}).$$

С учетом (4) получим

$$2\bar{z}_{di} = 2\bar{z}_{di \text{ нм}} + 0,5(\delta_{i-1} + \delta_i) + 2e_{pi \text{ нб}}, \quad (5)$$

где δ_{i-1} , δ_i — допуски на диаметр поверхности на соответствующих переходах обработки.

Наименьшее действительное значение припуска на сторону $z_{di \text{ нм}}$ определяют из условия обязательного удаления дефектов поверхностного слоя, возникших на предшествующем переходе обработки: неровностей (шероховатостей) высотой R_{i-1} и дефектного поверхностного слоя глубиной T_{i-1} , поэтому

$$z_{di \text{ нм}} = (R + T)_{i-1}. \quad (6)$$

Из (5) и (6) следует

$$2\bar{z}_{di} = 2(R + T)_{i-1} + 0,5(\delta_{i-1} + \delta_i) + 2e_{pi \text{ нб}}. \quad (7)$$

Средний припуск на диаметр

$$2\bar{z}_{di} = 0,5(2z_{di \text{ нб}} + 2z_{di \text{ нм}}). \quad (8)$$

С учетом (4), (7), (8) устанавливаем

$$0,5[(d_{\text{нб}} + d_{\text{нм}})_{i-1} - (d_{\text{нб}} + d_{\text{нм}})_i] = 2(R + T)_{i-1} + 0,5(\delta_{i-1} + \delta_i) + 2e_{pi \text{ нб}}.$$

Отсюда получим зависимости между наибольшими и наименьшими диаметрами поверхности на смежных технологических переходах обработки:

$$\left. \begin{aligned} d_{i-1 \text{ нб}} - d_{i \text{ нб}} &= 2[(R + T)_{i-1} + e_{pi \text{ нб}}] + \delta_{i-1}; \\ d_{i-1 \text{ нм}} - d_{i \text{ нм}} &= 2[(R + T)_{i-1} + e_{pi \text{ нб}}] + \delta_i. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

В. М. Кован [12] ввел обозначения:

$$d_{i-1 \text{ нб}} - d_{i \text{ нб}} = 2z_{\text{в нб}}; \quad d_{i-1 \text{ нм}} - d_{i \text{ нм}} = 2z_{\text{в нм}}, \quad (10)$$

где $2z_{внб}$ и $2z_{внм}$ — соответственно наибольшие и наименьшие значения расчетного промежуточного припуска на диаметр.

Расчетные значения припуска (10) используют только при определении промежуточных размеров. В связи с тем, что исходная и обработанная поверхности расположены с некоторым эксцентриситетом, фактические наименьшая и наибольшая глубины резания не равны половине расчетных значений припуска согласно (10).

При использовании предложенных Кованом В. М. соотношений (9) и (10) установлено, что в ряде случаев припуски завышены, так как суммирование проводится по методу максимума-минимума.

В учебнике Кована В. М. [11] расчет припусков и промежуточных размеров основан на законе копирования размеров, сформулированном так: при обработке заготовок с наименьшим предельным размером размер обработанной детали и припуск будут наименьшими.

Из формул для определения расчетного припуска (9) исключим допуск предшествующего перехода, тогда

$$\left. \begin{aligned} 2z_i \max &= d_{i-1} \max - d_i \max = 2[(R+T)_{i-1} + e_{pi \text{ вб}}] + \delta_{i-1} - \delta_i; \\ 2z_i \min &= d_{i-1} \min - d_i \min = 2[(R+T)_{i-1} + e_{pi \text{ нб}}]. \end{aligned} \right\} (11)$$

Зависимости (11) наиболее соответствуют условиям черновой обработки. Для чистовых переходов погрешности обработки, вызванные упругими деформациями технологической системы, не являются доминирующими по сравнению с другими (геометрические погрешности станка, погрешности настройки и т. п.), поэтому вычисленные по (11) припуски на чистовые переходы обработки иногда оказываются недостаточными. В связи с этим для чистовой обработки можно пользоваться формулами (10).

Возможен и вероятностный метод расчета припусков и промежуточных размеров. Рассмотрим основные положения этого метода применительно к переходам чистовой обработки.

Все величины, входящие в полученное ранее выражение (3), являются случайными величинами. Для математических ожиданий припуска $M[2z_{di}]$ на диаметры $M[d_{i-1}]$, $M[d_i]$ и погрешности расположения $M[2e_{pi} \cos \varphi]$ имеем

$$M[2z_{di}] = M[d_{i-1}] - M[d_i] + M[2e_{pi} \cos \varphi]. \quad (12)$$

Дисперсию (здесь и далее индекс дисперсии D) значений припуска $D[2z_{di}]$ определим согласно (3) на основании теорем о дисперсиях случайной величины:

$$\begin{aligned} D[2z_{di}] &= D[d_{i-1}] + D[d_i] + D[2e_{pi}] D[\cos \varphi] + \\ &+ D[2e_{pi}] \{M[\cos \varphi]\}^2 + \{M[2e_{pi}]\}^2 D[\cos \varphi]. \end{aligned} \quad (13)$$

Так как обычно угол φ принимает значения $0 \leq \varphi \leq 2\pi$, причем все значения φ в этом диапазоне равновероятны, то

$$M[\cos \varphi] = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \cos \varphi \, d\varphi = 0 \quad \text{и}$$

$$D[\cos \varphi] = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \cos^2 \varphi \, d\varphi = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{\varphi}{2} + \frac{\sin 2\varphi}{4} \right) \Big|_0^{2\pi} = 0,5.$$

При указанных условиях (12) и (13) примут вид:

$$\left. \begin{aligned} M[2z_{di}] &= M[d_{i-1}] - M[d_i]; \\ D[2z_{di}] &= D[d_{i-1}] + D[d_i] + 2D[e_{pi}] + 2\{M[e_{pi}]\}^2. \end{aligned} \right\} (14)$$

Если при расчетах неизвестна величина e_{pl} , но известны n составляющих величин e_j , например $e_1 = \rho_{l-1}$, $e_2 = e_l$, то аналогично второму уравнению (14) можем написать

$$D[2z_{дi}] = D[d_{l-1}] + D[d_i] + 2 \sum_{j=1}^n \{M\{e_j\}^2 + D\{e_j\}\} e_j. \quad (15)$$

Так как величины e_j (в данном случае отклонения расположения поверхностей — эксцентриситет) подчинены закону распределения Релея, а величины $\cos \varphi_j$ — закону арксинуса, то распределение величины $e_j \cos \varphi_j$ подчинено закону нормального распределения [32]. Величины d_{l-1} и d_i также подчинены закону нормального распределения, следовательно, по этому закону распределены и значения действительного припуска $2z_{дi}$.

$$\text{Для произвольной случайной величины } D[X] = \frac{1}{36} K_x^2 [\Delta X]^2,$$

где K_x — коэффициент, характеризующий отличие закона распределения величины X от закона нормального распределения; ΔX — практически предельное поле рассеяния (принимается равным допуску δ_x).

Для закона распределения Релея $M\{e_j\} = 0,365 e_{jnб}$ и $K_e = 1,097$ и тогда колебание припуска можно определить из выражения

$$\delta^2(2z_{дi}) = \delta_{l-1}^2 + \delta_i^2 + K \sum_j e_{jnб}^2 \quad (16)$$

где $K = 11,8 \approx 12$.

При других законах распределения случайных величин e_j будет другим и значение K . Так, при распределении e_j по закону равной вероятности $K = 24$.

Математическое ожидание величины действительного припуска при этом

$$\begin{aligned} M(2z_{дi}) &= 2(R+T)_{l-1} + 0,5\delta(2z_{дi}) = \\ &= 2(R+T)_{l-1} + 0,5 \sqrt{\delta_{l-1}^2 + \delta_i^2 + K \sum_j e_{jnб}^2}. \end{aligned} \quad (17)$$

Расчет можно вести по средним размерам, согласно первому уравнению (14), используя (17).

При выполнении технологических расчетов можно легко определить значения наибольших и наименьших диаметров из зависимостей:

$$\begin{aligned} d_{l-1нб} - d_{iнб} &= 2(R+T)_{l-1} + 0,5(\delta_{l-1} - \delta_i) + \\ &+ 0,5 \sqrt{\delta_{l-1}^2 + \delta_i^2 + K \sum_j e_{jnб}^2}; \\ d_{l-1нм} - d_{iнм} &= 2(R+T)_{l-1} - 0,5(\delta_{l-1} - \delta_i) + \\ &+ 0,5 \sqrt{\delta_{l-1}^2 + \delta_i^2 + K \sum_j e_{jnб}^2}. \end{aligned} \quad (18)$$

Таким образом, при вероятностном суммировании в расчетный припуск для чистовых переходов входят те же величины, что и в соотношения (9) по Ковану В. М. Величины же припусков по (18) будут больше, чем по последней методике В. М. Кована.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адаптивное управление станками. Под ред. Балакшина Б. С. М., «Машиностроение», 1973, 680 с. Авт.: Б. М. Базров, Б. С. Балакшин, И. М. Баранчукова, В. П. Вороненко и др.
2. Бидерман В. Л. Прикладная теория механических колебаний. М., «Высшая школа», 1972, 416 с.
3. Билик Ш. М. Микрогеометрия деталей машин. Изд. 2-е. М., «Машиностроение», 1973, 344 с.
4. Волчков Л. И. Надежность автоматических линий. М., «Машиностроение», 1969, 308 с.
5. Вороничев Н. М., Генин В. Б., Тартаковский Ж. Э. Автоматические линии из агрегатных станков. М., «Машиностроение», 1971, 552 с.
6. Вульф А. М. Резание металлов. Изд. 2-е, М.—Л., «Машиностроение», 1973, 496 с.
7. Грановский Г. И., Грудов П. П., Кривоухов В. А. Резание металлов. М., Машгиз, 1954, 472 с.
8. Дальский А. М. Технологическое обеспечение надежности высокоточных деталей машин. М., «Машиностроение», 1975, 224 с.
9. Дунин-Барковский И. В. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. Изд. 2-е М., «Машиностроение», 1975, 352 с.
10. Кацев П. Г. Статистические методы исследования режущего инструмента. Изд. 2-е. М., «Машиностроение», 1974, 240 с.
11. Кован В. М. Основы технологии машиностроения. М., Машгиз, 1959, 294 с.
12. Кован В. М. Расчет припусков на обработку в машиностроении. М., Машгиз, 1953, 208 с.
13. Комисаров В. И., Леонтьев В. И., Старостин В. Г. Размерная наладка универсальных металлорежущих станков. М., «Машиностроение», 1968, 208 с.
14. Корсаков В. С. Основы конструирования приспособлений в машиностроении. М., «Машиностроение», 1971, 288 с.
15. Корсаков В. С. Точность механической обработки. М., Машгиз, 1961, 380 с.
16. Кудинов В. А. Динамика станков. М., «Машиностроение», 1967, 360 с.
17. Левина З. М., Решетов Д. Н. Контактная жесткость машин. М., «Машиностроение», 1971, 264 с.
18. Ляндон Ю. Н. Функциональная взаимозаменяемость в машиностроении. Под ред. Якушева А. И. М., «Машиностроение», 1967, 219 с.
19. Макаров А. А. Износ и стойкость режущих инструментов. М., «Машиностроение», 1966, 264 с.
20. Маталин А. А., Рысцова В. С. Точность, производительность и экономичность механической обработки. М.—Л., Машгиз, 1963, 352 с.
21. Маталин А. А. Точность механической обработки и проектирование технологических процессов. М.—Л., «Машиностроение», 1970, 320 с.
22. Микитянский В. В., Сердюк Л. М. Методика расчета допустимой погрешности установки с учетом износа приспособлений. — «Известия вузов. Машиностроение», 1970, № 3 с. 61—65.
23. Опитц Г. Современная техника производства. М., «Машиностроение», 1975, 280 с.

24. **Основы автоматического управления.** Изд. 3-е, Под ред. Пугачева В. С., М., «Наука», 1974, 720 с.
25. **Основы технологии машиностроения.** Под ред. Корсакова В. С. Изд. 2-е. М., «Машиностроение», 1965, 492 с. Авт.: В. М. Кован, В. С. Корсаков, А. Г. Косылова, М. А. Калинин, Н. М. Капустин, М. Д. Солодов.
26. **Попов В. И., Локтев В. И.** Динамика станков. Киев, «Техніка», 1975, 136 с.
27. **Решетов Д. Н., Шелофаст В. В.** Определение упругих перемещений плоских шероховатых стыков, имеющих погрешность формы. — «Машиноведение», 1975, № 3, с. 109—114.
28. **Рыжов Э. В.** Основы расчета стыковых поверхностей деталей машин на контактную жесткость. М., Машгиз, 1962, 144 с.
29. **Справочник технолога-машиностроителя.** Т. 1. Изд. 3-е. Под ред. Косыловой А. Г. и Мещерякова Р. К., М., «Машиностроение», 1972, 696 с.
30. **Технологическая надежность станков.** Под ред. Проникова А. С., М., «Машиностроение», 1971, 342 с. Авт.: А. С. Проников, И. В. Дунин-Барковский, П. И. Бобрик и др.
31. **Технологическое обеспечение качества продукции в машиностроении.** Под ред. Бурдина Г. Д. и Волосова С. С. М., «Машиностроение», 1975, 280 с. Авт.: Г. Д. Бурдун, С. С. Волосов, Н. Н. Марков и др.
32. **Точность производства в машиностроении и приборостроении.** Под ред. Гаврилова А. Н., М., «Машиностроение», 1973, 568 с. Авт.: Н. А. Бородачев, Р. М. Абрашитов, И. М. Веселова и др.
33. **Шаумян Г. А.** Комплексная автоматизация производственных процессов. М., «Машиностроение», 1973, 640 с.
34. **Якушев А. И.** Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. Изд. 3-е., М., «Машиностроение», 1974, 472 с.
35. **Ящерицын П. И.** Основы технологии механической обработки и сборки в машиностроении, Минск, «Высшая школа», 1974, 608 с.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Автоматические линии 122
 — Погрешность установки заготовок 130
 — Точность обработки 122—140 — от-
 верстий 122, 123 на расточных пози-
 циях 137
 — Фиксация заготовок 130
Автоматы токарно-револьверные — Сме-
 щение узлов под нагрузкой 55
Алмазное выглаживание отверстий 21
 — цилиндрических поверхностей 18

Базирование заготовок 63 — Основные
 принципы — Расчет погрешности 64
 — по двум отверстиям 73
 — по двум плоскостям 70
 — по отверстию 72
 — по центровым гнездам 73
 — по цилиндрической поверхности 70
Базы искусственные 74
 — технологические — Примеры приме-
 нения условных обозначений 77—81
Барабан тормозной — Расчет припусков
 на обработку 268—270
Борштанга 138

Валы — Классы точности, Посадки 110, 111
 — ступенчатые — Расчет припуска на
 обработку 186
Вальцы — Точность правки 160
**Втулки для фиксаторов и установочных
 плит** 84
 — кондукторные — Длина направляющей
 части 130 — Интенсивность износа 129
 — скользящие 135
Выборки мгновенные 118, 119, 121
 — общие 118
**Выверка заготовок при установке на став-
 нах** — Методы 69

Галтели 197

Гибка 172

ГОСТ 14—71 103
 15—67 103
 16—71 58, 101
 17—71 56, 96
 21—71 103
 25—72 104
 26—67 58, 101
 28—68 108
 35—73 59, 101
 44—72 56, 98
 98—71 60
 273—67 61, 103
 370—67 59
 380—71 25
 594—67 100
 804—72 25
 859—66 25
 885—64 22, 23, 125
 1050—74 25

ГОСТ 1085—74 98
 1412—70 25
 1643—70 154, 257
 1677—67 22, 23, 126
 1855—55 147, 150, 151, 192, 197,
 199, 200, 204, 268, 270
 2009—55 147, 150, 151, 192, 197,
 199, 200, 208
 2034—64 125
 2041—69 105
 2110—72 99
 2590—71 178, 199
 2685—63 25
 2789—73 17—21, 148—150, 154,
 169—172, 249, 251, 271,
 272
 4543—71 25
 4743—68 82, 84
 4784—74 25
 5632—72 25
 6819—70 95
 6820—54 95
 7062—67 162, 199, 203, 212
 7417—57 178
 7505—74 162, 199
 7829—70 162, 199, 203
 8831—70 96
 8908—58 13
 8925—68 109
 8926—68 109
 9252—59 98
 10356—63 7—9, 11, 13, 19—21,
 26—29, 84, 85
 10600—74 61
 10702—63 25
 11135—72 103
 11576—66 100
 11654—72 60, 102
 12110—72 57
 12193—66 86
 12194—66 86
 12195—66 86
 12196—66 86
 12197—66 87
 12209—66 85
 12210—66 85
 12211—66 85
 12212—66 85
 13097—70 62
 13135—72 61
 13440—68 82, 83
 13441—68 82, 83
 13442—68 82, 83
 13443—68 109
 13444—68 109
 13445—68 109
 13446—68 109
 13510—68 60, 102
 14756—69 57
 14775—74 57
 15527—70 25
 15895—70 5
 16015—70 105

- ГОСТ** 16025—70 105
 16263—70 107, 112
 16467—70 121
 16472—70 95
 16949—71 5
 16972—72 22, 23
 17734—72 62, 100
 18097—72 55, 96
 18098—72 98
 18100—72 55, 95
 19257—73 25
 20072—74 25
 3.1107—73
 8.050—73 112
 8.051—73 107, 110, 111
 16.304—74 7
 16.305—74 7
 16.306—74 7, 121
- Детали из цветных металлов и сплавов** —
 Припуски на механическую обработку 257—267
 — Способы изготовления 142
Деформации контактные — Расчет 82, 83
 — температурные 115 — Влияние на точность обработки 114—117
Динамика технологических систем 54
Дисперсия значений припуска 284
Допуски — Примеры назначения по ГОСТам 277—279
 — конструкторские 5, 107
 — на диаметры 274—276
 — на литые заготовки 204—211
 — на поковки 212—237, 244—247, 252, 253
 — производственные 107
 — технологические 17—21, 26—29
 — функциональные 5
 — эксплуатационные 5
- Заготовки** — Виды, Последовательность выбора 141 — Способы установки на станках 69
 — из проката 154
 — литые 142
 — сварно-литые 154
Зажимы — Условные обозначения 75, 76
Зазор гарантированный 124, 125
Закон копирования размеров 281
 — равной вероятности 39
 — распределения нормальный 119, 282
 — Релея 43, 282
Замкнутость системы 35
- Износостойкость** 74
 — опор — Критерии 93
 — установочных элементов — Расчет 89
Измерения линейные — Нормальные условия выполнения 112
Инструмент — Износ 112—114
 — Методы координации 31, 32
 — Рекомендуемый набор для обработки отверстий 22, 23
 — Смещение геометрическое 124, 126
 — — упругое 138
 — Способы настройки 33
- Карта расчетная** 176
Качество поверхности отливок 190—195
 — повок 184—189
 — при различных видах обработки 17—20
 — проката 181—183
Качество продукции — Показатель однородности — Статистические методы оценки 5
Квалитеты 14, 15
Колебания вынужденные — Уравнение 49
 — гармонические 51, 52
 — отжатый системы 54
Колодки направляющие 87
Контроль точности технологических процессов 7, 117—122
Конусообразность 92
Короблевые отливки 192, 200
 — повок 185, 187
Кривизна проката 178, 179, 182, 183
Коэффициент вариации 7
 — влияния 38
 — использования металла 142
 — корреляции 38, 46
 — модели 34
 — относительного рассеивания погрешности 39, 122
 — точности 6, 7
 — уточнения по технологическим переходам 202
- Литье в песчаные формы** 147 — Допускаемые отклонения на размеры 151—153
 — Специальные способы 144—147
Люнеты — Условные обозначения 75
- Маршруты технологические обработки отверстий** 123
Математическое ожидание 38, 44, 45, 119, 284
Метод автоматического получения размеров — Формулы и указания 174, 175
 — вероятностного суммирования 40
 — квадратичного суммирования 40
 — максимума-минимума 40, 280
 — приведенных отклонений 122
 — регулирования положения реза 108
Моделирование математическое 33, 34
 — статистическое 40
 — физическое 33
Модель математическая 34 — Методы определения 54
 — смешанного типа 34
 — статистическая 33
Модуль относительной погрешности 6
 — упругости 127
- Надежность гарантированная** 40
Напуски на поковки 178, 196, 197
Настройка станка 106
Неточность геометрическая станка 92
- Обработка давлением** — Специальные методы 170—172
Огранка 187
Опоры — Площадь касания с заготовкой 94
 — Твердость 93
 — Типы 82, 83
 — Условные обозначения 75, 76
Оправки 65 — Диаметры 220, 237
 — Условные обозначения 75
Оснастка 150
Отверстия — Классы точности — Посадки 110, 111
 — литые — Методы обработки 264

- получаемые механической обработкой — Указания к расчету припусков и предельных размеров 197
- Отливки — Классы точности 147, 151
 - Материалы 143—146
 - Рентабельность в зависимости от характера производства 150
 - Способы изготовления 143—146, 148—153
 - Точность размеров 148—153
- Отклонения формы 14
- Ошибки — Варианты определения 36

- Пальцы установочные — Условные обозначения 75
- Патроны токарные 67
- Пластины опорные 75, 84
- Поверхность базовая 63
 - измерительная 63
 - отсчета 36
 - установочная 63
- Податливость 48, 202
- Погрешность абсолютная 6, 37
 - базирования 37, 63, 64, 175 — Расчет 70—73
 - геометрическая станка 37
 - закрепления заготовки 74, 175
 - измерения 37, 107
 - комплексная 14, 40
 - настройки станка, 37, 106
 - обработки суммарная — Расчет 37—47
 - остаточная после каждого прохода механической обработки — Формулы для расчета 202
 - относительная 6, 38
 - приспособления 63, 74
 - пространственная отливок 192
 - поковок 184—188
 - проката 179
 - размеров, формы и расположения 95—105
 - расположения осей отверстия 133—135, 140
 - регулирования 107, 108
 - систематическая 6, 39, 119
 - измерения — Определение слагаемых 128, 129
 - случайная 6, 119
 - установки заготовок 36, 63—66, 69
 - функциональные 6
 - элементарные 36 — Анализ и определение 47—54
- Показатели точности и стабильности технологической операции 121
- Поковки 162 — Группы точности 184, 185, 203
 - Методы изготовления 162, 163
 - Пример расчета припусков, номинальных размеров 271—273
 - Степень сложности 243
 - Точность изготовления 243
 - Удельная кривизна 185
- Призмы 86 — Обозначения условные 75
 - Площадь касания с заготовкой 94
 - Расчет 82
- Принцип совмещения баз 64
 - суперпозиции 49, 53
- Припуски — Вероятностный метод расчета 281 — Примеры назначения по ГОСТам 277—279 — Указания к расчету 196, 197
 - на литые заготовки 204—211
 - на обработку — Порядок расчета по технологическим переходам 176—178
 - на отверстия при протягивании 254
 - на поковы 212—242
 - общие 203
- Припуски на механическую обработку — К вопросу о совершенствовании методов расчета 279—282
 - минимальные 174
 - максимальные, номинальные 175
 - отверстий 255, 256
 - пазов 256
 - плоскостей 255
 - поковок 248—251, 254
 - промежуточные 254
 - Табличные значения 204—242
 - технологические 175
- Прокат — Виды 155
 - горячекатаный 178 — Способ резки — Точность резки 181
 - калиброванный 181
 - Методы правки 160, 161
 - Методы резки 157—159
 - поперечно-винтовой 178, 183
 - Точностные характеристики 178
- Промахи 6

- Работа резания 114
- Размеры заданные 98
 - номинальные 8
 - предельные — Порядок расчета по технологическим переходам 176—178
 - текущие 41
- Режим температурный в механических цехах 116
- Резцы — Относительный износ при чистовой точении 113

- Сверла — Рекомендуемые диаметры 24, 25
- Система СПИД — Жесткость 48, 49
 - Колебание упругих деформаций 36
 - Определение смещений элементов 87, 90, 91
- Система стандартная допусков и посадок 110, 111
 - упругая эквивалентная 52
- Соединения сварные 154
- Станки агрегатные — Требования точности 140 — Узлы направления 135, 136
 - металлорежущие — Смещения узлов под нагрузкой 55—62
- Степени точности при отклонениях 14
 - формы 17—21, 27, 29

- Температурное поле — Расчет 115
- Теория автоматического управления 49
 - точности 35
- Точность взаимного расположения отверстий 31, 32
 - плоскостей 30, 31
- Точность геометрическая 10
 - высокая, нормальная, повышенная 11
- Точность заготовок после механической обработки 201
 - изготовления установок для настройки инструмента 109
 - коэффициент запаса 5
 - правки проката 160, 161
 - резки проката 157—159
 - технологических процессов — Контроль 117—122
 - токарных патронов 67
 - Требования 7—15

- Точность обработки литых заготовок 191—194**
 — Расчет 33—47 — Таблицы 16—32
 — на агрегатных станках и автоматических линиях 122—140
 — отверстий 19—21, 24
 — плоскостей 26—29
 — поковок 189—191
 — проката 180—183
- Уклоны формовочные 197**
 — штамповочные 173, 196
Усадка отливок 197
Условие замкнутого контура 41, 42
Установы для настройки инструмента 109
Устойчивость системы 53
- Фиксаторы 130—132**
Формовка машинная 143, 147, 191
 — ручная 143, 147
Формы многократные 144
 — разовые 143
Функция корреляционная суммарной погрешности 44
- Центры — Условные обозначения 75, 76**
Цепи размерные 38, 63, 176
- Частота системы резонансная 51**
Чеканка рельефная 169
Чувствительность функции 38
Чугун серый 25
- Шероховатость поверхности — Классы 14, 15**
 — отливок 148—150
Штамп — Линия разъема 177
Штамповка 162, 184
 — горячая 165—168
 — листовая 170
 — методом выдавливания 197
 — холодная объемная 177
- Эксцентриситет 43**
Эксцентricность поковок 185, 200
Элементы упругой системы 52
 — установочных приспособлений — Расчет износостойкости 89

Александра Григорьевна Ковялова; Рудольф Константинович Мещеряков,
 Михаил Алексеевич Калинин

ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ, ЗАГОТОВКИ И ПРИПУСКИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Редактор издательства *И. Н. Жесткова*
 Технический редактор *Н. Ф. Демкина*. Корректор *О. Е. Мишина*
 Переплет художника *Е. В. Бекетова*

Сдано в набор 20/II 1976 г. Подписано к печати 15/VI 1976 г. Т-08972
 Формат 60×90^{1/16}. Бумага типографская № 3. Усл. печ. л. 18.
 Уч.-изд. л. 21,45. Заказ 750. Тираж 93 000 (1-й завод 43 000) экз. Цена 1 р. 18 к.

Издательство «Машиностроение», 107885, Москва, Б-78, 1-й Бауманный пер., 3

Ленинградская типография № 6 Союзполиграфпрома
 при Государственном комитете Совета Министров СССР
 по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
 193144, Ленинград, С-144, ул. Моисеенко, 10