

Министерство образования, науки и молодежной политики Краснодарского края

Государственное бюджетное профессиональное образовательное
учреждение Краснодарского края

«АРМАВИРСКИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ТЕХНИКУМ»

МЕТОДИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА

по УД: ОП.08 «Технология машиностроения»
по теме: «Расчет припусков расчетно-аналитическим
методом при проектировании технологических
процессов механической обработки деталей машин»

для обучающихся всех форм обучения по специальности 15.02.08 «Технология
машиностроения»

ОДОБРЕНО
цикловой методической комиссией
«Технология машиностроения»

Протокол № 6
от «30» ноября 2018 г.
Председатель ЦМК
_____ Т. А. Гришаева

УТВЕРЖДАЮ
Зам. директора по УР

_____ Л.А.Тараненко
« ____ » _____ 20__ г.

Методическая разработка составлена в соответствии с рабочей программой по УД: ОП.08 «Технология машиностроения». Для выполнения практических работ, контрольных работ, курсовых и дипломных проектов обучающихся всех форм обучения по специальности 15.02.08 «Технология машиностроения», а так же обучающихся других специальностей, изучающих дисциплину «Технология машиностроения».

Автор:

Котляров Г. Н., преподаватель
проф. дисциплин ГБПОУ КК «АМТ»

Рецензенты:

Быстрова С.А., преподаватель
проф. дисциплин ГБПОУ КК «АМТ»

Ковтонюк Ж. М., преподаватель
проф. дисциплин ГБПОУ КК «АМТ»

Содержание

Введение	4
1. Классификация припусков на механическую обработку	5
2. Расчетно–аналитический метод определения припусков	6
2.1. Факторы, определяющие величину припуска	6
2.2. Минимальный припуск и его составляющие	7
2.2.1. Назначение требований к шероховатости обработанных поверхностей	9
2.2.2. Глубина дефектного слоя	10
2.2.3. Расчет пространственных отклонений	26
2.2.4. Изменение пространственных отклонений при многопереходной обработке поверхности	36
2.3. Расчет погрешности установки	38
2.3.1. Определение погрешности установки	38
3. Порядок расчёта припусков на обработку и предельных размеров	50
4. Пример расчета	52
5. Список используемых источников	55

ВВЕДЕНИЕ

При проектировании технологических процессов важное место занимает определение припусков на обработку. Установление оптимальных припусков на обработку и технологических допусков на размеры заготовок по всем переходам имеет существенное технико-экономическое значение. Преувеличенные припуски вызывают перерасход материала при изготовлении деталей и необходимость введения дополнительных технологических переходов, увеличивают трудоемкость процессов обработки, расход энергии, режущего инструмента, повышают себестоимость обработки детали.

Припуском называется слой материала, удаляемый с поверхности заготовки для достижения заданной точности и качества поверхности детали. Назначение заниженных припусков не обеспечивает удаления дефектных слоев материала и достижения требуемой точности и качества обрабатываемых поверхностей, повышает требования к точности исходных заготовок и приводит к их удорожанию, увеличивает опасность появления брака.

Физико-механические свойства поверхностного слоя характеризуются его твердостью, структурными и фазовыми превращениями, величиной, знаком и глубиной распространения остаточных напряжений, деформацией кристаллической решетки материала. При применении химико-термических методов обработки изменяется также химический состав материала поверхностного слоя.

От качества поверхностного слоя детали во многом зависят ее эксплуатационные характеристики.

Расчетно-аналитический метод определения припусков позволяет учесть конкретные условия выполнения технологического процесса. Согласно этому методу промежуточный припуск должен быть таким, чтобы при его снятии устранялись погрешности обработки и дефекты поверхностного слоя, полученные на предыдущих технологических переходах.

Расчетно-аналитический метод определения припусков предусматривает расчет припусков по всем последовательно выполняемым технологическим переходам обработки данной поверхности детали (промежуточные припуски), их суммирование для определения общего припуска на обработку поверхности и расчет промежуточных размеров, определяющих положение поверхности, и размеров заготовки. Расчетной величиной является минимальный припуск на обработку, достаточный для устранения на выполняемом переходе погрешностей обработки и дефектов поверхностного слоя, полученных на предшествующем переходе, и компенсации погрешностей, возникающих на выполняемом переходе. Промежуточные размеры, определяющие положение обрабатываемой поверхности, и размеры заготовки рассчитывают с использованием минимального припуска. Расчетно-аналитический метод определения припусков представляет собой систему, включающую методы обоснованного расчета припусков, увязку расчетных припусков с предельными размерами обрабатываемой поверхности и нормативные материалы.

1. Классификация припусков на механическую обработку

Различают общие и промежуточные припуски.

Промежуточным припуском называют слой материала, снимаемый при выполнении данного технологического перехода.

Общий припуск – это сумма всех промежуточных припусков снятых при обработке данной поверхности.

Различают минимальные, номинальные и максимальные припуски на обработку.

Расчету подлежит минимальный припуск на обработку. Колебание же размера обрабатываемой поверхности заготовки в пределах допуска на ее изготовление создает колебание величины припуска от минимального до максимального.

Величины припусков на обработку могут быть установлены опытно-статическим методом или определены с использованием расчетно-аналитического метода.

После определения минимальных промежуточных припусков необходимо определить предельные промежуточные (межпереходные) размеры. Промежуточными (межпереходными) размерами называют размеры, получаемые на каждом технологическом переходе.

2. Расчетно–аналитический метод определения припусков

2.1. Факторы, определяющие величину припуска

1. Высота неровностей профиля R_{Zi-1} , полученная на предшествующем переходе обработки данной поверхности. Величина R_{Zi-1} зависит от метода, режимов и условий выполнения предшествующей обработки приводится в табл. 2.2–2.23.

2. Состояние и глубина поверхностного слоя T_{i-1} , полученные на предшествующем технологическом переходе. Этот слой, отличающийся от основного металла по механическим свойствам, наличию остаточных напряжений и структуре, включается в припуск не всегда.

Разные металлы в зависимости от вида и режимов обработки имеют разную величину изменённого слоя.

У заготовок, изготовленных из серого чугуна, изменённый слой представляет собой перлитную корку, которая обычно полностью удаляется в первом переходе при обработке лезвийным инструментом с целью сохранения его стойкости. Поэтому для последующих переходов обработки поверхности величина T_{i-1} принимается равной нулю.

Стальные поковки и штамповочные заготовки имеют обезуглероженный поверхностный слой. Этот слой снижает предел выносливости металла, поэтому его следует удалить при механической обработке. Значения T для

основных видов заготовок и методов механической обработки приводятся в табл. 2.2–2.23.

3. Суммарное значение пространственных отклонений ρ_{i-1} в расположении обрабатываемой поверхности относительно базовых поверхностей заготовки, оставшихся после выполнения предшествующего перехода. В минимальный припуск входят пространственные отклонения, имеющие самостоятельные значения, не связанные с допуском на выполняемый размер. Они могут быть заданы непосредственно как допустимая кривизна вала, коробление поверхностей, смещение и увод отверстия, непараллельность осей, неперпендикулярность, радиальное и торцевое биение и прочие, а также допуском на расположение, поверхности или оси, координирующим размером. Причинами пространственных отклонений могут быть: пространственные погрешности изготовления литейных форм и штампов; деформации детали в процессе обработки; погрешности взаимного положения рабочих элементов станка.+

2.2. Минимальный припуск и его составляющие

Структура минимального припуска показана на рис. 1.

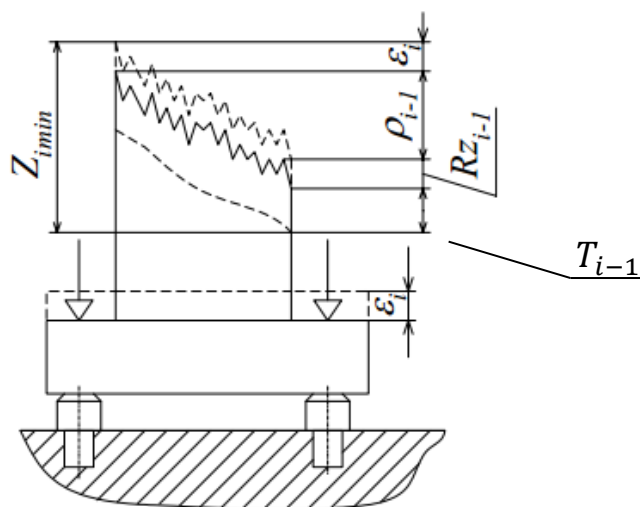


Рис. 1. Составляющие минимального припуска

Таблица 2.1

Значение минимального припуска определяется следующими формулами для различных вариантов обработки

Вид обработки	Расчетная формула
Последовательная обработка противоположных или отдельно расположенных поверхностей	$Z_{i \min} = R_{Z_{i-1}} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i$
Параллельная обработка противоположных плоскостей	$2Z_{i \min} = 2(R_{Z_{i-1}} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i)$
Обработка наружных или внутренних поверхностей вращения	$2Z_{i \min} = 2(R_{Z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2})$
Обтачивание цилиндрической поверхности заготовки, установленной в центрах; бесцентровое шлифование	$2Z_{i \min} = 2(R_{Z_{i-1}} + T_{i-1} + \rho_{i-1})$
Развертывание плавающей разверткой, протягивание отверстий	$2Z_{i \min} = 2(R_{Z_{i-1}} + T_{i-1})$
Суперфиниш, полирование и раскатка (обкатка)	$2Z_{i \min} = 2R_{Z_{i-1}}$
Обработка лезвийным или абразивным инструментом без выдерживания размера черновой поверхности	$Z_d = R_{Z_{i-1}} + T_{i-1} + 0,25 * \delta_{i-1}$
Шлифование после термообработки: а) при наличии б) при отсутствии	а) $Z_{i \min} = R_{Z_{i-1}} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i$ $2Z_{i \min} = 2(R_{Z_{i-1}} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i)$ б) $Z_{i \min} = R_{Z_{i-1}} + \rho_{i-1}$ $2Z_{i \min} = 2(R_{Z_{i-1}} + \rho_{i-1})$

Расчетный припуск не должен быть меньше той глубины резания, при которой работа нормально заточенной режущей кромки инструмента становится неустойчивой. Например, острозаточенный резец может снимать стружку толщиной около 5 мкм, при затуплении кромки 10–20 мкм.

где R_{zi-1} – высота микронеровностей поверхности по ГОСТ 2789-73 на предшествующем переходе, мкм;

T_{i-1} – глубина дефектного поверхностного слоя, полученного на предшествующем переходе, мкм;

ρ_{i-1} – суммарное значение пространственных отклонений взаимосвязанных поверхностей, оставшихся после выполнения предшествующего перехода, мкм;

ε_i – погрешность установки заготовки на станке при выполняемом переходе, мкм.

Минимальные промежуточные припуски рассчитываются с точностью до микрометра, округление результата всегда производится в сторону увеличения припуска. Во всех случаях назначаемый минимальный припуск должен превышать минимальную толщину стружки, которую может снять режущий инструмент (при точении – 0,02 - 0,05 мм, при фрезеровании – больше указанных значений, при абразивной обработке – меньше).

2.2.1. Назначение требований к шероховатости обработанных поверхностей

Шероховатость поверхности, сформированная на предшествующем переходе, оказывает существенное влияние на минимальный припуск. При окончательной обработке поверхности шероховатость определяется требованиями чертежа. На промежуточных переходах она назначается технологом. Шероховатость исходной заготовки назначается технологом исходя из возможностей принятого метода получения заготовки. Справочная информация по параметрам шероховатости поверхностей в зависимости от метода их получения приведена в Таблицах 2.2 – 2.23.

При назначении шероховатости на промежуточные переходы учитываются следующие правила:

1) при черновой обработке шероховатость грубее, чем при чистовой, а при чистовой - грубее, чем при окончательной;

2) каждый последующий переход не должен ухудшать шероховатость поверхности; равенство шероховатостей смежных переходов является предельно допустимым случаем;

3) повышенные требования по шероховатости предъявляются к поверхностям:

– базовым,

– подлежащим последующей химико-термической или гальванической обработке (так как эта обработка ухудшает шероховатость примерно на один класс).

Чем выше требования по шероховатости, тем меньшим будет припуск на

последующую обработку.

2.2.2. Глубина дефектного слоя

Дефектный слой формируется при любой обработке, при любых технологических операциях, но его толщина может варьироваться от нескольких микрометров до сотен микрометров. Глубина дефектного слоя исходной заготовки определяется главным образом методом получения заготовки, в некоторых случаях – габаритными размерами заготовки. Глубина дефектного слоя, формируемого в результате механической обработки, определяется методом и условиями обработки.

Для серого и ковкого чугуна и цветных сплавов после первого технологического перехода глубина дефектного слоя T_i крайне незначительна и поэтому из расчетной формулы исключается.

Справочная информация о глубине дефектного слоя, в зависимости от метода обработки поверхности, приведена в Таблицах 2.2 – 2.23.

Таблица 2.2

Качество поверхности для различных видов заготовок

Вид заготовки	Параметры качества, мкм	
	Rz	T
Заготовки из горячекатаного проката		
Диаметр до 25 мм	150/100*	150/100*
Диаметр от 25 до 75 мм	150/100*	250/150*
Диаметр от 75 до 150 мм	200/150*	300/200*
Диаметр свыше 150 мм	300/250*	400/300*
Заготовки из проката		
Калиброванный гладкотянутый	60	75
Калиброванный шлифованный	10	20
Поперечно-винтовой	0,7	1,1
Заготовки штампованные		
Масса заготовки до 0,25 кг	80***	150
Масса заготовки от 0,25 до 4,0 кг	160***	200
Масса заготовки от 4,0 до 25 кг	200***	250
Масса заготовки от 25 до 40 кг	250***	300
Масса заготовки от 40 до 100 кг	320***	350
Масса заготовки от 100 до 200 кг	400***	400
Заготовки кованные		
Свободная ковка при наибольшем поперечном размере, мм: Св. 50 до 180 Св. 180 до 500 Св. 500 до 1000 Св. 1000 до 2000		2000** 3000** 4000** 5000**
Ковка на ГКМ	50***	75
Заготовки литые		
Литье в песчаные формы**** (для классов размерной точности 9 и грубее) при наибольших габаритных размерах, мм: До 500 Св. 500 до 1250 Св. 1250 до 3150		800** 900** 1000**
Литье в кокиль и центробежное	200	250
Литье в оболочковые формы	40	200
Литье по выплавляемым моделям	30	140
Литье под давлением	50	100
Примечания:		
* – в числителе приведены данные для проката обычной точности, в знаменателе – для проката повышенной точности;		
** - приведено суммарное значение (Rz+T);		
*** - после пескоструйной обработки; при дробеструйной обработке величину высоты микронеровностей принимать 400 мкм независимо от массы штамповки;		
**** - увеличение (Rz+T) для верха заготовки в положении при заливке металла в форму принимать в пределах 0,5 - 3 мм для отливок из серого чугуна и 0,5 - 7 мм для стальных отливок		

Таблица 2.3

Точность и шероховатость поверхности заготовок после некоторых видов механической обработки

Характеристика заготовки	Вид механической обработки	Квалитет точности	Высота микронеровностей Rz, мкм
Прокат	Черновая	12 - 14	160 - 80
	Получистовая	12 - 11	80 - 20
	Чистовая	11 - 10	20
Поковки, полученные свободной ковкой	Обдирка	17	320
	Черновая	15 - 16	320 - 160
	Получистовая	14 - 12	160 - 80
	Чистовая	11 - 10	40 - 20
Отливки 9-го класса размерной точности и грубее	Обдирка	17 - 16	320
	Черновая	15 - 14	320 - 160
	Получистовая	14 - 12	160 - 40
	Чистовая	11 - 10	20 - 10
Для заготовок любого вида	Тонкая обработка лезвийным инструментом	9 - 8	5 - 2,5
	Однократное шлифование	9 - 7	10 - 2,5
	Тонкое шлифование	7 - 6	2,5 - 0,63

Качество поверхностей отливок

Таблица 2.4

Качество поверхности отливок ($Rz + T$), мкм, достигаемое различными способами формовки

Отливка		Наибольший размер отливки, мм	
материал	Способ формовки	До 500	Св. 500 до 1000
Чугун ($Rz + T$)	I	400	600
	II	500	700
	III	600	800
Сталь ($Rz + T$)	I	300	500
	II	400	600
	III	500	700
Цветные металлы и сплавы ($Rz + T$)	I	200	400
	II	300	500
	III	400	600

Примечание: I - литье в формы, изготовленные машинной формовкой по металлическим моделям; II – машинная формовка по деревянным моделям; III – ручная формовка по деревянным моделям

Таблица 2.5

Качество поверхности отливок, достигаемое специальными способами литья

Способ литья		Класс размерной точности ГОСТ 26645-85 (и соответствующий ему квалитет)	Rz, мкм	T, мкм для заготовки		
				из чугуна	из стали	из цветных металлов
В кокиль		7-5 (IT14-15)	200	300	-	100
Центробежное		7-5 (IT14-15)	200	300	-	100
Под давлением		5-4 (IT11-12)	30	-	-	100
В оболочковые формы для элементов, получаемых	в одной полуформе	5-4 (IT11-12)	40	260	160	100
	в обеих полуформах	7 (IT14)	40	260	160	100
	под давлением	5 – 4 (IT11-12)	50	-	-	100
По выплавляемым моделям		5-4 (IT11-12)	32	170	100	63

Таблица 2.6

Качество поверхности после механической обработки отливок,
полученных литьем в песчаные формы

Метод обработки	Квалитет точности	Rz, мкм	T, мкм
<i>Отливки 3т – 5 классов точности</i>			
Обработка лезвийным инструментом:			
- однократная	12 - 11	40 - 10	30
- черновая	12	50	50
- чистовая	11 - 10	40 - 10	25
- тонкая	9 - 8	...	...
Шлифование:			
- однократное	8	...	...
- предварительное	9	10	20
- чистовое	8 - 7	5 – 2,5	15
- тонкое	7 - 6	...	...
<i>Отливки 6 – 9т классов точности</i>			
Обработка лезвийным инструментом:			
- черновая	14	100	100
- получистовая	12	50	50
- чистовая	11 - 10	40 – 10	25
- тонкая	9 - 8	...	...
Шлифование:			
- однократное	8	...	...
- предварительное	9	10	20
- чистовое	8 - 7	5 – 2,5	15
- тонкое	7 - 6	...	...

Таблица 2.7

Качество поверхности после механической обработки отливок,
полученных специальными способами литья

Метод обработки	Квалитет точности	Rz, мкм	T, мкм
<i>Литье в кокиль</i>			
Обработка лезвийным инструментом:			
- однократная	11	40 – 10	25
- черновая	12	50	50
- чистовая	10	40 – 10	20
- тонкая	9 - 8	5 – 2,5	5
Шлифование:			
- однократное	8	10	20
- предварительное	9	10	20
- чистовое	8 - 7	5 – 2,5	15
- тонкое	7 - 6	2,5	5
<i>Литье в оболочковые формы</i>			
Обработка лезвийным инструментом:			
- однократная	11 - 10	40 - 20	25
- черновая	11	20	20
- чистовая	10	10	20
- тонкая	9 - 8	5 – 2,5	5
Шлифование:			
- однократное	8	10	20
- предварительное	9	10	20
- чистовое	8 - 7	5 – 2,5	15
- тонкое	7 - 6	2,5	5
<i>Литье по выплавляемым моделям</i>			
Обработка лезвийным инструментом:			
- однократная	10	20 – 5	20
- тонкая	9 - 8	5 – 2,5	5
Шлифование:			
- однократное	8	10	20
- предварительное	9	10	20
- чистовое	8 - 7	5 – 2,5	15
- тонкое	7 - 6	2,5	5

Качество поверхности после ковки и штамповки

Таблица 2.8

Качество поверхности поковок, изготовленных ковкой
на прессах и молотах (Rz + T), мкм

Наибольший размер поковки, мм	Пресс		Молот	Подкладные штампы
	Точность			
	повышенная	нормальная	нормальная	нормальная
От 50 до 180	800	1000	1000	750
Св.180 до 500	100	1500	1500	1250
Св.500 до 1250	1500	2000	2000	1500
Св.1250 до 3150	2000	2500	2500	-

Таблица 2.9

Качество поверхностей после механической обработки
штампованных заготовок

Метод обработки	Квалитет точности	Rz, мкм	T, мкм
Валы ступенчатые			
<i>Торцовые поверхности</i>			
Торцовое фрезерование однократное	14	100	100
Черновое подрезание	12	50	50
Чистовое подрезание	11	32	30
Шлифование на круглошлифовальных станках	9 - 8	10 - 5	10
<i>Наружные поверхности вращения</i>			
Обтачивание:			
- однократное	12 - 11	32	30
- черновое	12	50	50
- чистовое	11	25	25
- тонкое	9 - 7	5 - 2,5	5
Шлифование:			
- предварительное	9 - 8	10	20
- чистовое	7 - 6	5 - 2,5	15
- тонкое	6 - 5	2,5 - 0,63	5

Таблица 2.9 продолжение

Метод обработки	Квалитет точности	Rz, мкм	T, мкм
<i>Диски, шестерни одновенцовые и многовенцовые</i>			
<i>Наружные поверхности вращения</i>			
Обтачивание:			
- однократное	12 - 10	80 - 10	30
- черновое	14	100	100
- получистовое	12	50	50
- чистовое	11 - 10	40 - 10	25
- тонкое	9 - 8	5 - 2,5	...
Шлифование:			
- однократное	9 - 7	5	10
- предварительное	9 - 8	10	20
- чистовое	7 - 6	5 - 2,5	15
- тонкое	6 - 5	2,5	5
<i>Торцовые поверхности</i>			
Торцовое точение и подрезание:			
- однократное	12 - 10	80 - 10	30
- черновое	14	100	100
- получистовое	12	50	50
- чистовое	11 - 10	40 - 10	25
Шлифование однократное на круглошлифовальном станке	9 - 7	5	10
Шлифование на плоскошлифовальном станке:			
- предварительное	9 - 8	10	20
- чистовое	7 - 6	5 - 2,5	15
Рычаги			
<i>Плоскости, параллельные оси детали и плоскости разъема головок</i>			
Фрезерование:			
- черновое	12	32	50
- чистовое	11	10	15
Протягивание	10	5	10
Шлифование плоских поверхностей, параллельных оси детали:			
- предварительное	9 - 8	10	20
- чистовое	7 - 6	5 - 2,5	15
Обтачивание круглого стержня рычага:			
- черновое	12	50	50
- чистовое	11	25	25

Таблица 2.10

Качество поверхностей после механической обработки поковок, полученных ковкой на прессах, молотах и подкладных штампах

Метод обработки	Квалитет точности	Rz, мкм	T, мкм
<i>Точение резцами, фрезерование:</i>			
- обдирочное	17	1250	350
- черновое	16 - 15	250	240
- получистовое	14 - 12	125	120
- чистовое	11 - 10	40	40
- тонкое	7 - 6	5	5
<i>Шлифование:</i>			
- обдирочное	15 - 14	20	20
- черновое	10	15	15
- чистовое	7 - 6	5	5
- тонкое	6 - 5	2,5	5

Качество поверхности проката

Таблица 2.11

Качество поверхности калиброванного проката

Характеристика проката	Rz, мкм	T, мкм
Гладкотянутый	60	60
Шлифованный	10	20

Таблица 2.12

Качество поверхности сортового горячекатаного проката

Диаметр проката, мм	Точность прокатки					
	высокая		повышенная		обычная	
	Rz, мкм	T, мкм	Rz, мкм	T, мкм	Rz, мкм	T, мкм
До 30	63	50	80	100	125	150
Св.30 до 80	100	75	125	150	160	250
Св.80 до 180	125	100	160	200	200	300
Св.180 до 250	200	200	250	300	320	400

Таблица 2.13

Качество поверхности круглого проката со специальной отделкой поверхности («серебрянка»)

Группа отделки поверхности стали	Квалитеты	Шероховатость поверхности по ГОСТ 2789-73		Наименование допустимых дефектов поверхности	Максимальная глубина залегания допустимых дефектов
		параметр Ra, мкм, не более	базовая длина, мм		
А	h5, h6, h7, h8, h9, h10	0,32	0,25	Дефекты не допускаются	Дефекты не допускаются
Б	h6, h7, h8, h9, h10, h11	0,63	0,8		
В	h7, h8, h9, h10, h11	1,25	0,8		
Г	h8, h9, h10, h11	2,5	0,8	Отдельные дефекты механического происхождения	1/2 предельного отклонения по диаметру
Д	h9, h10, h11, h12	-	-	Отдельные дефекты механического происхождения	Предельное отклонение по диаметру
Е	h8, h9	-	-	Продольные риски	1/2 предельного отклонения по диаметру

Таблица 2.14

Качество поверхности поперечно-винтового проката

Диаметр проката, мм	Rz, мкм, при точности прокатки		Т, мкм
	повышенной	нормальной	
До 10	63	100	100
Св.10 до 18	100	200	180
Св.18 до 30	160	320	300
Св.30 до 50	320	500	500
Св.50 до 80	500	800	800
Св.80 до 120	800	1250	1200
Св.120 до 180	1250	1600	2000

Таблица 2.15

Бесцентровое шлифование заготовок из калиброванного проката

Квалитет точности проката и вид шлифования	Квалитет точности	Rz, мкм	T, мкм
<i>Калиброванная, 8-й квалитет</i> Шлифование после термообработки	7-6	3 - 0,8	...
<i>Калиброванная, 9-й квалитет</i> Шлифование: - до термообработки - после термообработки	8 7 - 6	6 3 - 0,8	12 ...
<i>Калиброванная, 10-й и 11-й квалитеты</i> Шлифование: - предварительное - чистовое - тонкое	9 8 7 - 6	10 6 3 - 0,8	20 12 6 - 2
Примечание: калиброванный прокат 8-го квалитета точности шлифовать до термообработки нецелесообразно ввиду его высокой точности			

Таблица 2.16

Механическая обработка калиброванного проката 12-го квалитета точности (автоматная сталь)

Метод обработки	Квалитет точности	Rz, мкм	T, мкм
<i>Наружные поверхности</i> Обтачивание: - однократное - двухкратное Шлифование: - предварительное - чистовое - тонкое	11 10 9 8 - 7 7 - 6	30 15 10 5 - 3 3 - 0,8	20 15 20 15 ...
<i>Торцовые поверхности</i> Подрезание: - черновое - чистовое Шлифование на круглошлифовальных станках	12 11 7	50 30 5	50 30 ...

Таблица 2.17

Качество наружных поверхностей вращения после механической обработки горячекатаного проката

Метод обработки	Квалитет точности	Rz, мкм	T, мкм
Обтачивание проката повышенной точности: - черновое - чистовое и однократное - тонкое	12 11 - 10 9 - 7	63 32 - 20 6,3 - 3,2	60 30 -
Обтачивание проката обычной точности: - черновое - получистовое - чистовое - тонкое	14 12 11 - 10 9 - 7	120 63 30 - 20 6,3 - 3,2	120 60 30 -
Шлифование: - предварительное - чистовое и однократное - тонкое	9 - 8 8 - 7 7 - 6	10 6,3 - 3,2 3,2 - 0,8	20 12 6 - 2
Примечание: при шлифовании после закалки T из формулы припуска исключить			

Таблица 2.18

Качество торцовых поверхностей проката после механической обработки

Метод обработки	Квалитет точности*	Rz, мкм	T, мкм
Подрезание торцов и торцовое точение: - черновое - чистовое	12 11	63 - 50 32	50 - 60 30
Шлифование торцов на круглошлифовальных станках	7 - 6	10 - 5	20
Примечание: * без учета погрешности базирования			

Таблица 2.19

Качество торцевой поверхности проката после резки, мм

Показатели	Способ резки									
	по упору на ножницах, дисковыми пилами и приводными ножовками				на прессах и дисковыми фрезами на фрезерных станках			отрезными резцами на станках токарного типа		
	Диаметр отрезаемой заготовки D									
	2 - 25	26 - 75	80 - 150	Св. 150	5 - 25	26 - 75	5 - 25	26 - 75	80 - 150	160 - 250
Допускаемое отклонение размеров по длине заготовки	±1,0	±1,3	±1,8	±2,3	±0,3	±0,4	±0,25	±0,35	±0,40	±0,50
Высота микронеровностей и глубина дефектного слоя Rz+T	0,3				0,2			0,2		
Отклонение от перпендикулярности торца к оси заготовки	0,010D				0,0007D			0,045D		
<p>Примечание: при резке на ножницах получаются вмятина и скос; величина вмятины в направлении, перпендикулярном к поверхности среза, достигает 0,2D, а величина скоса по торцу 3°. Величину вмятины и скоса следует учитывать при последующей обработке отрезанной заготовки соответственно по диаметру и по торцу</p>										

Качество поверхности при обработке отверстий

Таблица 2.20

Качество поверхности при сверлении и зенкерованиях

Показатели	Диаметр отверстия, мм					
	от 3 до 6	св.6 до 10	св.10 до 18	св.18 до 30	св.30 до 50	св.50 до 80
Сверление спиральными сверлами						
Квалитет точности	12	12	12	12	12	12
Шероховатость Rz, мкм	20	32	40	50	50	63
Глубина дефектного слоя T, мкм	40	50	60	70	70	80
Глубокое сверление специальными сверлами						
Квалитет точности	12	12	12	12	12	
Шероховатость Rz, мкм	16	16	20	32	50	
Глубина дефектного слоя T, мкм	25	25	30	40	50	
Зенкерование отверстий однократное						
Квалитет точности			10	10	10	10
Шероховатость Rz, мкм			32	32	32	32
Глубина дефектного слоя T, мкм			40	40	40	40
Зенкерование отверстий черновое*						
Квалитет точности				12 - 11	12 - 11	12 - 11
Шероховатость Rz, мкм				40	50	50
Глубина дефектного слоя T, мкм				40	50	50
Зенкерование отверстий чистовое*						
Квалитет точности			11 - 10	11 - 10	11 - 10	11 - 10
Шероховатость Rz, мкм			32	32	40	40
Глубина дефектного слоя T, мкм			30	30	40	40
Примечание: * черновое зенкерование – зенкерование по литому или прошитому отверстию; чистовое зенкерование – зенкерование после сверления или черного зенкерования						

Таблица 2.21

Качество поверхности при развертывании

Показатели	Диаметр отверстия, мм					
	от 3 до 6	св.6 до 10	св.10 до 18	св.18 до 30	св.30 до 50	св.50 до 80
Развертывание отверстий нормальное*						
Квалитет точности	...	10	10	10	10	10
Шероховатость Rz, мкм	...	10	10	10	10	10
Глубина дефектного слоя T, мкм	...	15	20	25	25	25
Развертывание отверстий точное*						
Квалитет точности	...	8	8	8	8	8
Шероховатость Rz, мкм	...	5	5	5	5	5
Глубина дефектного слоя T, мкм	...	10	10	10	10	10
Развертывание отверстий тонкое*						
Квалитет точности	...	7	7	7	7	7
Шероховатость Rz, мкм	...	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
Глубина дефектного слоя T, мкм	...	5	5	5	5	5
Примечание: * виды развертывания определяются допусками на диаметральные размеры разверток						

Таблица 2.22

Качество поверхности при растачивании отверстий

Показатели	Диаметр отверстия, мм			
	св.50 до 80	св.80 до 120	св.120 до 180	св.180 до 260
Растачивание отверстий черновое				
Квалитет точности	12	12	12	12
Шероховатость Rz, мкм	40	40	40	40
Глубина дефектного слоя T, мкм	50	50	50	50
Растачивание отверстий чистовое				
Квалитет точности	10	10	10	10
Шероховатость Rz, мкм	20	20	20	20
Глубина дефектного слоя T, мкм	25	25	25	25

Таблица 2.23

Качество поверхности при протягивании, калибровании, шлифовании и хонинговании отверстий

Показатели	Диаметр отверстия, мм				
	св.6 до 10	св.10 до 18	св.18 до 30	св.30 до 50	св.50 до 80
Протягивание					
Квалитет точности	–	8	8	8	8
Шероховатость Rz, мкм	–	4	4	4	4
Глубина дефектного слоя T, мкм	–	6	6	6	6
Калибрование шариком или оправкой					
Квалитет точности	7	7	7	7	7
Шероховатость Rz, мкм	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
Глубина дефектного слоя T, мкм	–	–	–	–	–
Шлифование					
Квалитет точности	–	7 - 9	7 - 9	7 - 9	7 - 9
Шероховатость Rz, мкм	–	5	5	5	5
Глубина дефектного слоя T, мкм	–	10	10	10	10
Хонингование					
Квалитет точности	–	6 - 7	6 - 7	6 - 7	6 - 7
Шероховатость Rz, мкм	–	0,16	0,16	0,16	0,16
Глубина дефектного слоя T, мкм	–	–	–	–	–

2.2.3. Расчет пространственных отклонений

Пространственные отклонения при расчете минимального припуска следует учитывать:

- при выполнении первого технологического перехода;
- после черновой обработки лезвийным инструментом;
- после получистовой обработки лезвийным инструментом;
- после любой термической обработки.

Пространственные отклонения расположения поверхностей при обработке за несколько переходов закономерно уменьшаются, поэтому на стадиях чистовой и отделочной обработки ими можно пренебречь.

При расчете пространственных отклонений как составляющих минимального припуска следует учитывать специфику конкретного метода получения заготовки и возникающие при этом погрешности формы и взаимного положения поверхностей заготовки.

Например: «Таковыми погрешностями могут быть смещение по линии разъема штампа, эксцентриситет в расположении поверхностей вращения, формируемых в одной половине штампа (рис. 2). При неопределенности взаимного положения таких погрешностей их следует суммировать геометрически. Так, смещение по плоскости разъема штампа в случаях прохождения плоскости разъема по элементарной поверхности (рис. 2 а, б) приводит к уступу на этой поверхности. Чтобы компенсировать эти пространственные отклонения, следует предусмотреть дополнительный припуск на обработку поверхности D .

При прохождении плоскости разъема через линию контакта элементарных поверхностей (рис. 2 в, г) смещение по плоскости разъема приводит к отклонению от концентричности поверхностей, формируемых в разных частях штампа. Чтобы компенсировать эти пространственные отклонения, следует предусмотреть дополнительный припуск на обработку поверхности d ».

Суммарное значение пространственной погрешности ρ определяется как векторная сумма пространственных отклонений:

$$\bar{\rho} = \sum \bar{\rho}_m$$

При обработке плоских поверхностей выполняется алгебраическое (с учетом направления) суммирование пространственных отклонений:

$$\rho = \sum \rho_m$$

При обработке поверхностей вращения предвидеть направление смещений векторов пространственных отклонений крайне затруднительно, поэтому их суммируют геометрически:

$$\rho = \sqrt{\sum \rho_m^2}$$

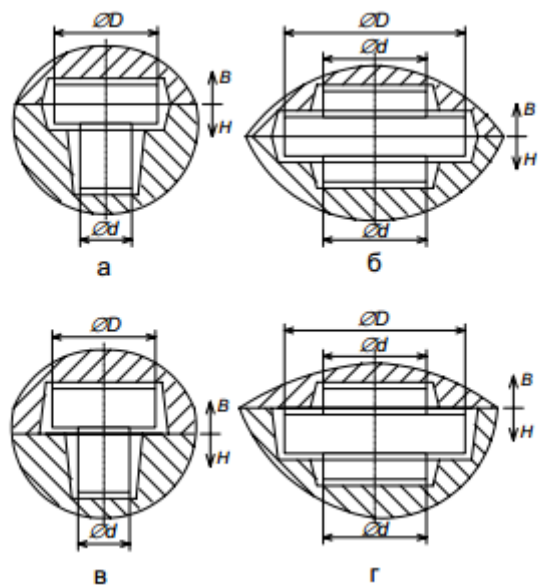


Рис. 2. Расположение линии разъема штампа

Таблица 2.24

Суммарное значение пространственных отклонений для различных видов заготовок и механической обработки

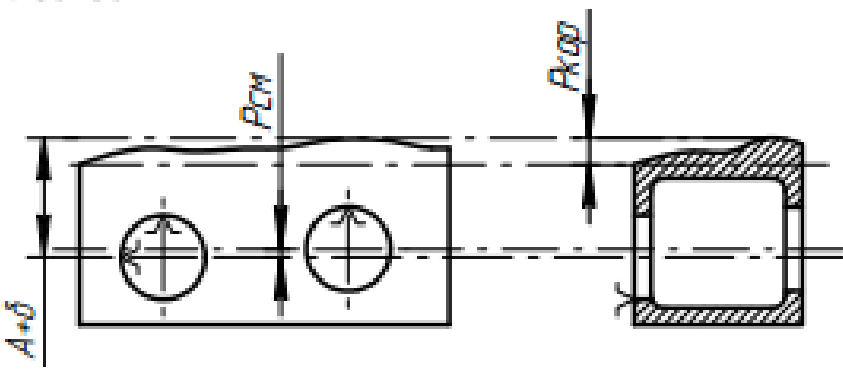
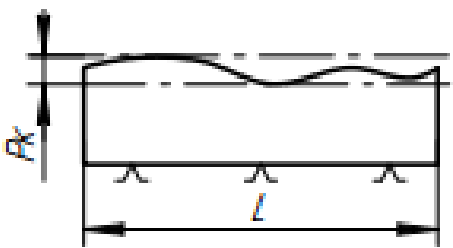
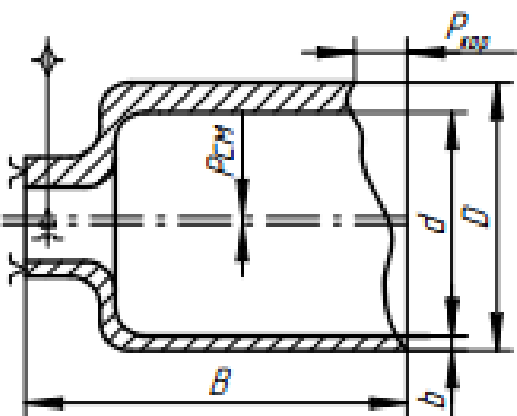
Тип детали и схема базирования	Расчётные формулы
<p style="text-align: center;">1. Литые заготовки</p> <p>Корпусные детали, по отверстиям с параллельными осями и перпендикулярной к ним плоскости</p>  <p>То же, по плоскости, противоположной обрабатываемой</p>  <p>Детали – тела вращения, в самоцентрирующих патронах по наружному диаметру с прижимом к торцевой поверхности</p> 	$\rho = \sqrt{\rho_{см}^2 + \rho_{кор}^2}$ $\rho_{см} = \delta$ $\rho_{кор} = \Delta_{\kappa} L$ $\rho = \rho_{кор}$ $\rho_D = \rho_{кор} = \Delta_{\kappa} D$ $\rho_d = \sqrt{\rho_{см}^2 + \rho_{кор}^2}$ $\rho_{см} = \delta_a$ $\rho_B = \Delta_{\kappa} B$

Таблица 2.24 продолжение

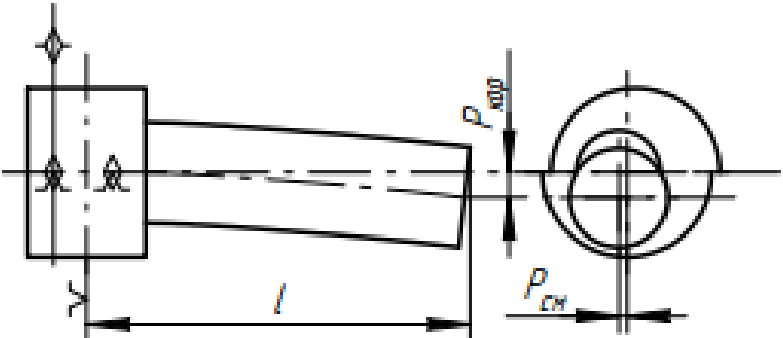
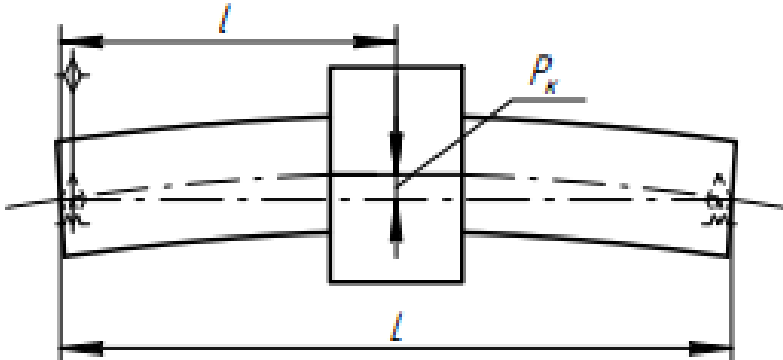
Тип детали и схема базирования	Расчётные формулы
<p style="text-align: center;">2. Штампованные заготовки</p> <p>Стержневые детали (валы ступенчатые, рычаги др.) с базированием по крайней ступени (поверхности)</p> 	$\rho = \sqrt{\rho_{см}^2 + \rho_{кор}^2}$ $\rho_{кор} = \Delta_x l$
<p>Стержневые детали при обработке в центрах</p> 	$\rho = \sqrt{\rho_{см}^2 + \rho_{кор}^2 + \rho_{ц}^2}$ $\rho_{кор} = \Delta_x l$ <p style="text-align: center;">при $l \leq L/2$</p> $\rho_{ц} = 0,25\sqrt{\delta^2 + 1}$
<p>Детали типа дисков с прошиваемым центральным отверстием (шестерни, диски и др.) с установкой по наружному диаметру и торцу</p>	$\rho = \sqrt{\rho_{см}^2 + \rho_{зскц}^2}$

Таблица 2.24 продолжение

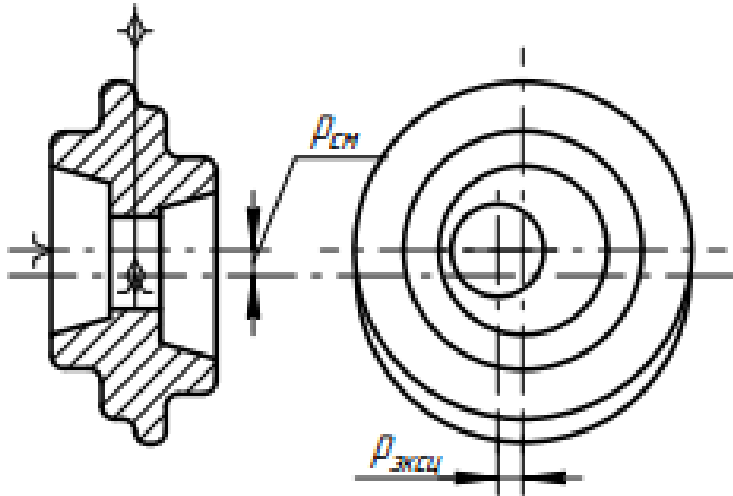
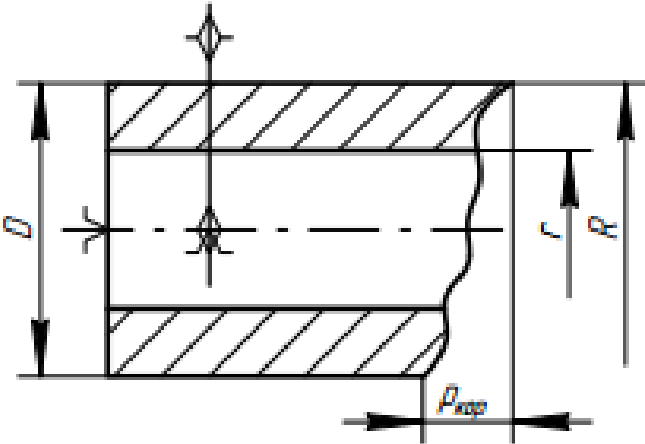

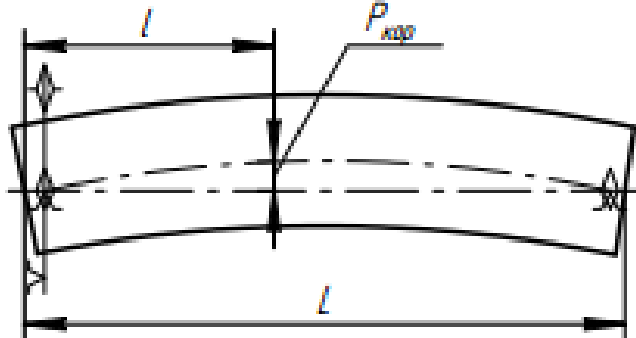
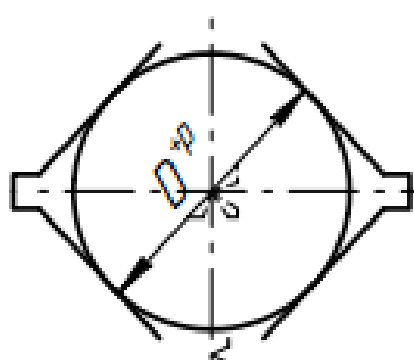
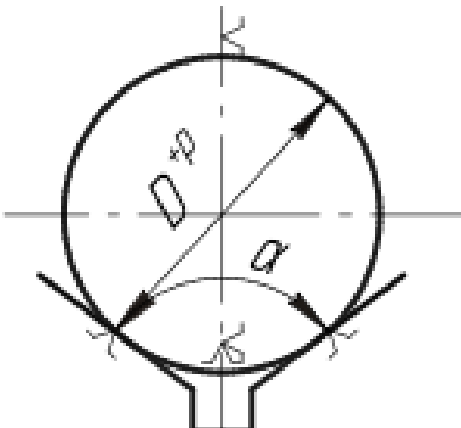
Тип детали и схема базирования	Расчётные формулы
 <p>То же, при обработке торцевых поверхностей</p> 	$\rho = \rho_{\text{ксп}}$ $\rho_{\text{ксп}} = \Delta_k D$
<p>3. Заготовки из сортового проката</p> <p>При консольном закреплении в самоцентрирующих патронах</p> 	$\rho = \rho_{\text{ксп}}$ $\rho_{\text{ксп}} = \Delta_k l$ $\rho = \sqrt{\rho_{\text{ксп}}^2 + \rho_{\text{ш}}^2}$

Таблица 2.24 продолжение

Тип детали и схема базирования	Расчётные формулы
<p>При обработке в центрах</p> 	$\rho_{кзр} = \Delta_d l$ <p>при $l \leq L/2$</p> $\rho_u = 0,25\sqrt{\delta^2 + 1}$
<p>4. Сверление центровых отверстий в заготовке</p> <p>При установке в самоцентрирующих зажимных устройствах</p> 	$\rho_u = 0,25 \text{ мм}$
<p>При установке на призмах с односторонним прижимом</p> 	$\rho_u = \sqrt{\frac{\delta^2}{2} + 0,25^2}$ <p>(при $\alpha = 90^\circ$)</p> $\rho_u = \sqrt{\frac{\delta^2}{3} + 0,25^2}$ <p>(при $\alpha = 120^\circ$)</p>

Обозначения, используемые в табл. 2.24: ρ ; $\rho_{\Delta l}$; ρ_{α} – суммарное значение пространственных отклонений обрабатываемой поверхности; $\rho_{кор}$ – величина коробления обрабатываемой поверхности (см. табл. 2.26); $\rho_{см}$ – смещение обрабатываемой поверхности относительно базовой или смещение одних участков поверхностей относительно других (см. табл. 2.25); $\rho_{ц}$ – погрешность зацентровки; $\Delta_{к}$ – удельная кривизна обрабатываемой поверхности (см. табл. 2.27); $\rho_{эксц}$ – эксцентricность (см. табл. 2.26); δ – допуск на диаметральный размер базовой поверхности заготовки, используемой при зацентровке.

Таблица 2.25

Смещение осей поковок, штампуемых в разных половинах штампа $\rho_{см}$; мм

Масса штампованной поковки, кг	Штамповка					
	На молотах			На прессах и горизонтально-ковочных машинах		
	Группа точности					
	1	2	3	1	2	3
До 0, 25	0,30	0,4	0,6	0,20	0,3	0,5
Свыше 0,25 до 0,63	0,35	0,5	0,8	0,25	0,4	0,6
Свыше 0,63 до 1,60	0,40	0,6	1,2	0,30	0,5	0,7
Свыше 1,60 до 2,50	0,45	0,8	1,4	0,35	0,6	0,8
Свыше 2,50 до 4,00	0,50	1,0	1,5	0,40	0,7	0,9
Свыше 4,00 до 6,30	0,63	1,1	1,7	0,50	0,8	1,0
Свыше 6,30 до 10,00	0,70	1,2	2,0	0,60	0,9	1,2
Свыше 10, 00 до 16	0,80	1,3	2,1	0,60	1,0	1,3
Свыше 16 до 25	0,90	1,4	2,3	0,70	1,1	1,4
Свыше 25 до 40	1,00	1,6	2,6	0,70	1,2	1,6
Свыше 40 до 63	1,20	1,8	2,9	–	–	–
Свыше 63 до 100	1,40	2,2	3,5	–	–	–
Свыше 100 до 125	1,60	2,4	3,8	–	–	–
Свыше 125 до 160	1,80	2,7	4,4	–	–	–
Свыше 160 до 200	2,20	3,2	5,0	–	–	–

Примечание: Группы точности: 1 – повышенная, 2 – нормальная, 3 – пониженная.

Таблица 2.26

Эксцентricность $\rho_{\text{эксц}}$ и коробление поковок $\rho_{\text{кор}}$ получаемых на прессах и горизонтально-ковочных машинах, мм

Толщина (высота), длина и ширина поковки	Эксцентricность			Кривизна (стрела прогиба и коробление)		
	Группа точности					
	1	2	3	1	2	3
До 50	0,50	0,8	1,0	0,25	0,5	0,5
Свыше 50 до 120	0,63	1,4	1,5	0,25	0,5	0,5
Свыше 120 до 180	0,80	2,0	2,5	0,32	0,5	0,7
Свыше 180 до 260	1,00	2,8	3,5	0,32	0,6	0,9
Свыше 260 до 360	1,50	3,2	4,5	0,40	0,70	1,0
Свыше 360 до 500	2,50	3,6	5,5	0,50	0,80	1,1

Примечание : Группы точности: 1 – повышенная, 2 – нормальная, 3 – пониженная.

Таблица 2.27

Удельная изогнутость и коробление Δ_k ; мкм/мм

Метод получения поверхности	Диаметр или толщина деталей, мм				
	Свыше 18 до 30	Свыше 30 до 50	Свыше 50 до 80	Свыше 80 до 120	Свыше 120 до 180
Литьё в земляные формы деталей типа плит	4	4	3	3	2,5
Литьё в металлические формы корпусных деталей	2	2	1	1	0,7
Горячая штамповка (без правки)	2,4	2	1,6	1,2	0,8
Горячая штамповка (после правки)	0,4	0,3	0,2	0,2	0,15
Прокат горячекатаный (без правки)	12	10	10	8	5
Прокат горячекатаный (по- сле правки)	2	2	1,5	1	1
Прокат калиброванный нормальной точности (без правки)	4	4	3	3	2

Таблица 2.27 продолжение

Метод получения поверхности	Диаметр или толщина деталей, мм				
	Свыше 18 до 30	Свыше 30 до 50	Свыше 50 до 80	Свыше 80 до 120	Свыше 120 до 180
Прокат калиброванный (после правки)	2	2	1,5	1,5	1
Прокат холодноотянутый (без правки)	8	6	4	2	–
Прокат холодноотянутый (после правки)	2	1,5	1	1	–
Валы после шлифования	0,06	0,05	0,04	0,03	–

Сверление отверстий

При сверлении отверстий в сплошном материале, независимо от класса детали и способа получения заготовки, суммарное значение пространственных отклонений ρ (в микрометрах) следует определять по формуле

$$\rho_{\Sigma} = \sqrt{C_o^2 + (\Delta_y * l)^2}$$

где C_o - смещение оси отверстия, мкм; Δ_y - удельное значение увода оси отверстия в процессе обработки, мкм/мм; l – глубина отверстия, мм. Справочные данные для расчета приведены в табл. 2.28.

Пространственные отклонения при сверлении

Таблица 2.28

Показатели	Диаметр отверстия, мм				
	от 3 до 6	св.6 до 10	св.10 до 18	св.18 до 30	св.30 до 50
Сверление спиральными сверлами					
Удельное значение увода оси отверстия на 1 мм длины Δ_y , мкм/мм	2,1	1,7	1,3	0,9	0,7
Смещение оси отверстия C_o , мкм	10	15	20	25	30
Глубокое сверление специальными сверлами					
Удельное значение увода оси отверстия на 1 мм длины Δ_y , мкм/мм	1,6	1,3	1,0	0,7	-
Смещение оси отверстия C_o , мкм	10	15	20	25	-

Влияние термической обработки на изменение пространственных погрешностей

Термическая обработка сопровождается существенным изменением пространственной погрешности, и это требуется учитывать при расчете припуска.

Величину пространственной погрешности при термической обработке можно рассчитать по формуле

$$\rho_{mo} = \Delta_{mo} * L$$

где $\Delta_{то}$ – удельное значение кривизны после термической обработки, мкм/мм; L – длина детали, мм. Значения удельного коробления приведены в табл. 2.29.

Таблица 2.29

Удельная кривизна заготовок после термической обработки

Диаметр заготовки, мм	5 - 25	26 - 75	80 - 150	Св.150
Удельная кривизна $\Delta_{то}$, мкм/мм	2,0	1,3	0,6	0,3
Примечание: при термической обработке проката токами высокой частоты табличные значения $\Delta_{то}$ принимать с коэффициентом 0,5				

Пространственная погрешность при обработке предварительно полученных отверстий в заготовках, не являющихся телами вращения

При обработке отверстий, полученных на предшествующих операциях, в заготовках, не являющихся телами вращения, возникающая пространственная погрешность связана со смещением оси отверстия заготовки относительно измерительной базы (рис. 3). Такое колебание положения оси отверстия должно быть компенсировано припуском на обработку. Смещение оси отверстия в заготовке при этом может быть определено как:

$$\rho_{смещ} = \sqrt{\left(\frac{\delta B_{заг}}{2}\right)^2 + \left(\frac{\delta A_{заг}}{2}\right)^2}$$

где $\delta B_{заг}$ и $\delta A_{заг}$ – соответственно допуски на положение оси отверстия заготовки соответственно в вертикальном и горизонтальном направлении.

При наличии погрешности базирования, связанной, например с установкой заготовки по базовому отверстию на цилиндрический палец, в расчете погрешности смещения следует учесть погрешность базирования, так как данная погрешность вызывает дополнительное колебание положения оси отверстия заготовки:

$$\rho_{смещ} = \sqrt{\left(\frac{\delta B_{заг}}{2}\right)^2 + \left(\frac{\delta A_{заг}}{2} + \frac{\varepsilon_{\delta}}{2}\right)^2}$$

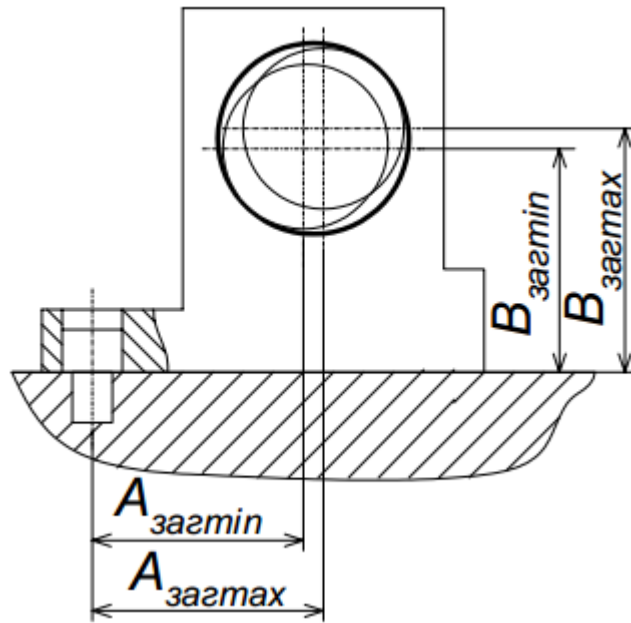


Рис. 3. Смещение оси отверстия в заготовке, предварительно полученного на предшествующих операциях

2.2.4. Изменение пространственных отклонений при многопереходной обработке поверхности

После каждого технологического перехода механической обработки резани- ем значение суммарной пространственной погрешности уменьшается:

$$\rho_{ост} = K_y * \rho$$

где $\rho_{ост}$ – остаточная пространственная погрешность; K_y – коэффициент уменьшения исходной погрешности; ρ – пространственная погрешность, сформированная в ходе предшествующей обработки. Значения коэффициента K_y приведены в Таблица 2.30.

Таблица 2.30

Значения коэффициента уменьшения исходной погрешности K_y
при механической обработке резанием

Вид обработки	Коэффициент K_y
Черновая подрезка торцов	0,1*
Получистовая подрезка торцов	0,075*
Чистовая подрезка торцов	0,05*
Однократное и черновое точение штамповок, отливок и заготовок из горячекатаного проката	0,06**
Однократное обтачивание калиброванного проката 12-го качества точности	0,05**
Двукратное обтачивание калиброванного проката 12-го качества точности	0,02**
Получистовое точение штамповок, отливок, заготовок из горячекатаного проката, рассверливание отверстий	0,05
Чистовое точение штамповок, отливок, заготовок из горячекатаного проката	0,04**
Черновое шлифование	0,03**
Чистовое шлифование	0,02**
Черновая обработка литой плоскости при базировании по плоскости	0,04**
Зенкерование и черновое развертывание отверстий	0,005
Развертывание отверстий	0,002
<p>Примечания:</p> <p>* Величина остаточных пространственных отклонений $\rho_{ост}$ для торцевых поверхностей с центральным отверстием после механической обработки определяется как $\rho_{ост} = K_y(D-d) \rho_{заг}$, где D и d – размеры наружной и внутренней поверхностей; $\rho_{заг}$ - пространственная погрешность исходной заготовки.</p> <p>** Величина остаточных пространственных отклонений определяется как $\rho_{ост} = K_y \cdot \rho_{заг}$, где $\rho_{заг}$ – пространственное отклонение исходной заготовки.</p>	

2.3. Расчет погрешности установки

2.3.1. Определение погрешности установки

Погрешность ε_y в общем виде определяют как векторную сумму погрешности базирования $\varepsilon_б$ погрешности закрепления $\varepsilon_з$ и погрешности приспособления $\varepsilon_{пр}$.

В случае, когда можно определить направление векторов:

$$\bar{\varepsilon}_y = \bar{\varepsilon}_б + \bar{\varepsilon}_з + \bar{\varepsilon}_{пр}$$

Знаки в приведенном выражении зависят от направления векторов. Когда же предвидеть направление векторов затруднительно, их суммируют по правилу квадратного корня:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_б^2 + \varepsilon_з^2 + \varepsilon_{пр}^2}$$

Погрешность базирования имеет место при несовпадении технологической и измерительной баз и зависит также от допуска и погрешности формы базовых поверхностей. В табл. 5.1 и 5.2 приводятся формулы для определения погрешности базирования при обработке заготовок в различных приспособлениях.

Погрешность закрепления возникает в результате смещения обрабатываемых поверхностей заготовок от действия зажимной силы. Значения погрешности закрепления заготовок приведены в табл. 2.31–2.39.

Погрешность приспособления является следствием неточности изготовления станочного приспособления, погрешности установки самого приспособления на станке и износа его рабочих поверхностей. К погрешности приспособления относится и погрешность индексации – поворота зажимных устройств при обработке заготовок на многопозиционных станках. За исключением последней составляющей, элементы погрешности приспособления часто трудно выявить как самостоятельные значения, поэтому их учитывают как входящими в погрешность закрепления.

С учётом сказанного для однопозиционной обработки:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_б^2 + \varepsilon_з^2} \text{ или } \varepsilon_y = \varepsilon_б \pm \varepsilon_з$$

При обработке заготовок на многопозиционных станках для расчёта припуска под второй переход погрешность определяют по формуле:

$$\varepsilon_{yi} = k_y * \varepsilon_{yi-1} + \varepsilon_{инд}$$

где k_y – коэффициент уточнения (можно принимать $k_y = 0,06$) ε_{yi-1} – погрешность установки на первом переходе; $\varepsilon_{инд}$ – погрешность индексации поворотного устройства (поворотного стола, шпиндельного барабана, револьверной головки и т. д.), при расчётах можно принимать $\varepsilon_{инд} = 0,05$ мм.

При последующих переходах остаточная погрешность установки мала, и ею можно пренебречь, а учитывать только погрешность индексации.

Таблица 2.31

Погрешность базирования при обработке в приспособлениях

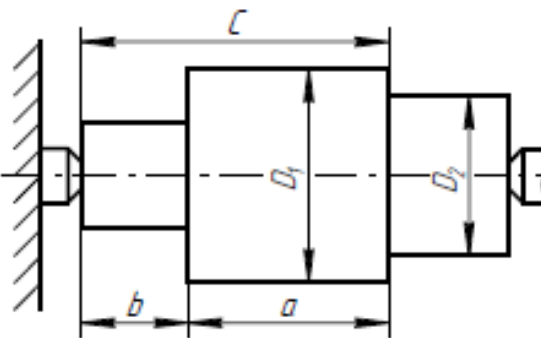
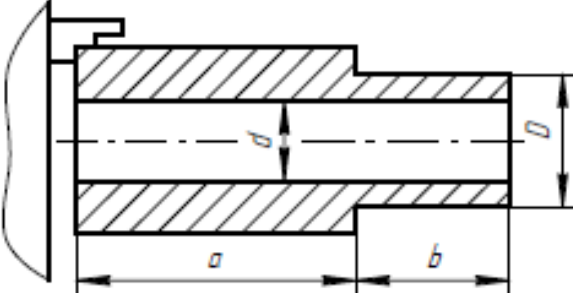
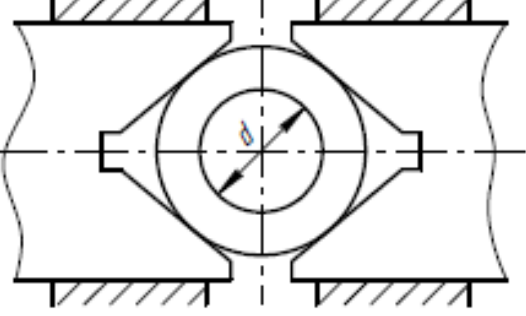
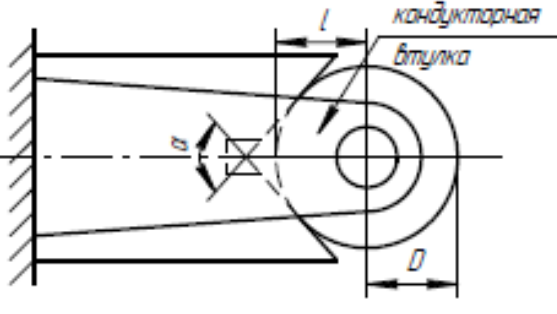
Базирование	Схема установки	Погрешность базирования ε
<p>По центровым отверстиям: на жесткий передний центр на плавающий передний центр</p>		<p>$\varepsilon_{D_1} = 0; \varepsilon_{D_2} = 0$ $\varepsilon_a = 0; \varepsilon_b = \Delta_{\text{ц}}$ $\varepsilon_c = \Delta_{\text{ц}}$ При плавающем центре: $\varepsilon_b = 0; \varepsilon_c = 0$</p>
<p>По внешней поверхности: в зажимной цапге по упору и в самоцентрирующемся патроне с упорным торцом</p>		<p>$\varepsilon_D = 0; \varepsilon_d = 0$ $\varepsilon_a = 0; \varepsilon_b = 0$</p>
<p>В самоцентрирующихся призмах</p>		<p>$\varepsilon_d = 0$ $\varepsilon_c = 0$</p>
<p>В призме при обработке отверстия по кондуктору</p>		$\varepsilon_c = \frac{\delta_D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$

Таблица 2.31 продолжение

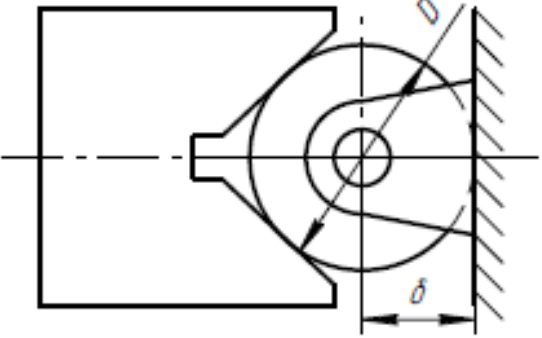
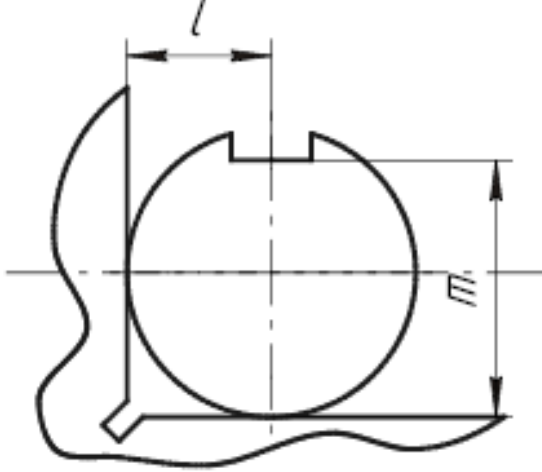
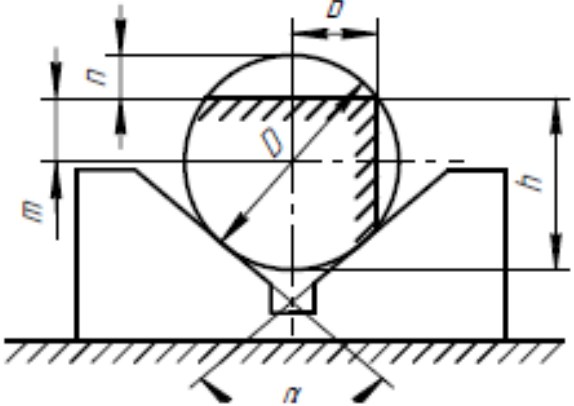
Базирование	Схема установки	Погрешность базирования ε
По плоской поверхности при обработке отверстия по кондуктору		$\varepsilon_l = \frac{\delta_D}{2}$
В призме при обработке паза		$\varepsilon_l = \frac{\delta_D}{2}$ $\varepsilon_m = 0$
В призме при обработке плоскости		$\varepsilon_h = \frac{\delta_D}{2} = \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right)$ $\varepsilon_n = \frac{\delta_D}{2} = \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right)$ $\varepsilon_m = \frac{\delta_D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$ $\varepsilon_b = 0$

Таблица 2.31 продолжение

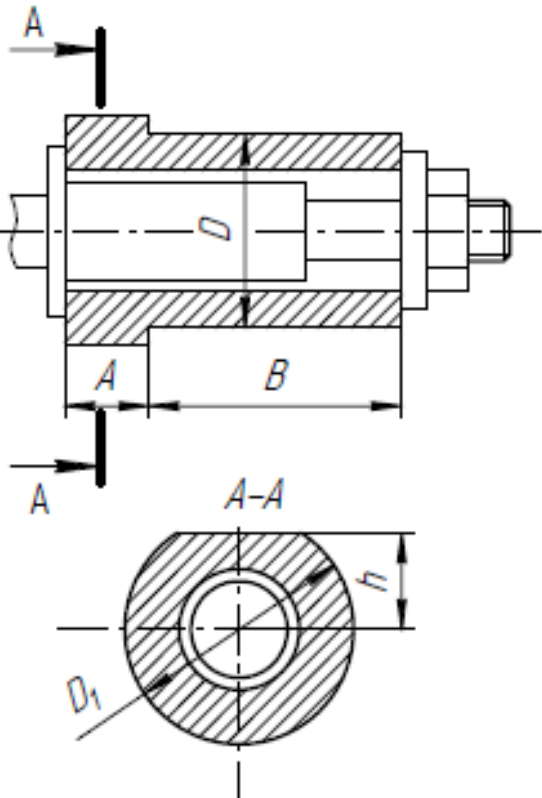
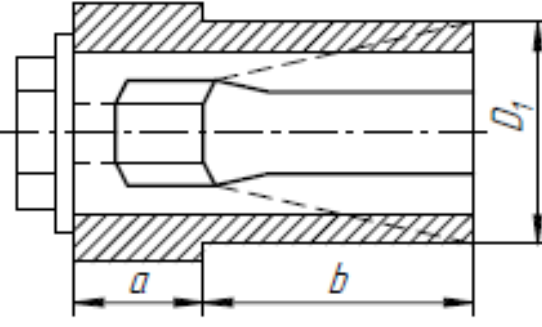
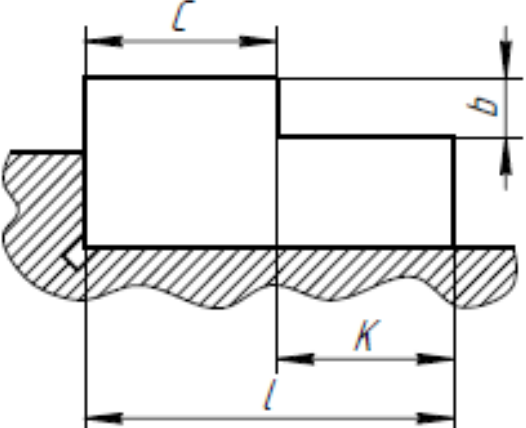
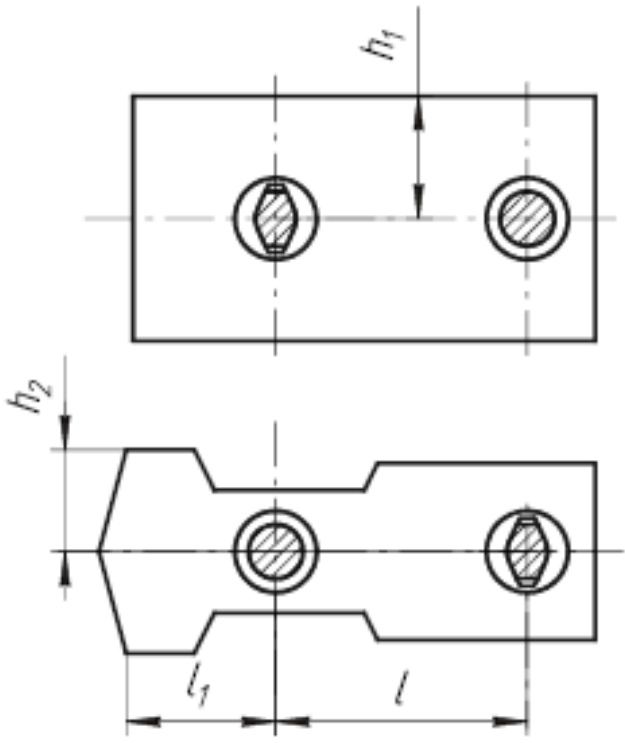
Базирование	Схема установки	Погрешность базирования ε
<p>По отверстию: на жесткой оправке со свободной посадкой</p>		$\varepsilon_{D_1} = S_{min} + \delta_B + \delta_A$ $\varepsilon_{D_2} = S_{min} + \delta_B + \delta_A$ $\varepsilon_h = S_{min} + \delta_B + \delta_A$ <p>При установке оправки на плавающий передний центр, в гильзу или патрон по упору</p> $\varepsilon_a = 0; \varepsilon_b = 0$ <p>При установке оправки на жесткий передний центр</p> $\varepsilon_b = 0; \varepsilon_a = \Delta_{Ц}$
<p>По отверстию: на разжимной оправке, на жесткой оправке</p>		$\varepsilon_{D_1} = 0; \varepsilon_{D_2} = 0$ $\varepsilon_h = 0; \varepsilon_b = \Delta_{Ц}$ $\varepsilon_a = 0$
<p>По плоскости при обработке уступа</p>		$\varepsilon_B = \delta_a$ $\varepsilon_K = \delta_l$ $\varepsilon_C = a$

Таблица 2.31 продолжение

Базирование	Схема установки	Погрешность базирования ε
<p>По двум отверстиям на пальцах: при обработке верхней поверхности</p>		$\varepsilon_{h_1} = S_{min} + \delta_B + \delta_A$ $\varepsilon_{h_2} = (S_{min} + \delta_B + \delta_A) \times \left(\frac{2l_1 + l}{l} \right)$

Примечание: Обозначения, используемые в табл. 2.31: ε_l – смещение оси отверстия относительно оси внешней поверхности; δ_D – допуск на диаметр внешней поверхности; S_{min} – минимальный гарантийный зазор; δ_B – допуск на размер оправки; δ_A – допуск на размер базового отверстия.

Таблица 2.32

Просадка центровых гнёзд (отверстий) Δ_u

Наибольший диаметр центрального гнезда, мм	1; 2; 2,5	4; 5; 6	7,5; 10	12,5; 15	20; 30
Δ_u , мм	0,12	0,15	0,20	0,22	0,25

Таблица 2.33

Погрешность закрепления при установке заготовок в пневматическом патроне

Характеристика базовой поверхности	Погрешность закрепления ε_3 , мкм, при поперечном размере заготовки, мм									
	Свыше 6 до 10	Свыше 10 до 18	Свыше 18 до 30	Свыше 30 до 50	Свыше 50 до 80	Свыше 80 до 120	Свыше 120 до 180	Свыше 180 до 260	Свыше 260 до 360	Свыше 360 до 500
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
В радиальном направлении										
Литье в песчаную форму	180	220	260	320	380	440	550	580	660	760
Литье в постоянную форму	120	140	170	220	240	280	320	380	440	500
Литье по выплавляемым моделям или в оболочковые формы	40	50	60	70	80	90	100	120	–	–
Литье под давлением	20	25	30	35	40	45	50	60	–	–
Горячая штамповка	180	220	260	320	380	440	500	580	660	–
Горячекатаная	180	220	260	320	380	440	500	–	–	–
Предварительно обработанная	40	50	60	70	80	90	100	120	140	160
Чисто обработанная	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80
В осевом направлении										
Литье в песчаную форму	55	60	70	80	90	100	110	120	130	140
Литье в постоянную форму	55	60	65	75	80	90	110	110	120	130
Литье по выплавляемым моделям или в оболочковые формы	45	50	55	65	75	80	85	90	–	–
Литье под давлением	25	35	45	50	55	65	70	80	–	–
Горячая штамповка	55	60	70	80	90	100	110	120	130	–
Горячекатаная	55	60	70	80	90	100	110	–	–	–

Таблица 2.33 продолжение

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Предварительно обработанная	40	50	60	70	80	90	100	110	120	-
Чисто обработанная	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100

Таблица 2.34

Погрешность закрепления при установке заготовок
на опорные пластины приспособлений

Характеристика базовой поверхности	Погрешность закрепления ε_z , мкм, при поперечном размере заготовки, мм									
	Свыше 6 до 10	Свыше 10 до 18	Свыше 18 до 30	Свыше 30 до 50	Свыше 50 до 80	Свыше 80 до 120	Свыше 120 до 180	Свыше 180 до 260	Свыше 260 до 360	Свыше 360 до 500
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Установка в зажимное приспособление с винтовыми или эксцентриковыми зажимами										
Литье в песчаную форму	-	100	110	120	135	150	175	200	240	280
Литье в постоянную форму	55	60	70	80	90	100	110	120	130	140
Литье по выплавляемым моделям или в оболочковые формы	40	50	60	70	80	90	100	110	-	-
Литье под давлением	30	40	50	60	70	80	90	100	-	-
Горячая штамповка	-	100	110	120	135	150	175	200	240	-
Горячекатаная	90	100	110	120	135	150	175	-	-	-
Предварительно обработанная	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Чисто обработанная	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Шлифованная	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Установка в зажимное приспособление с пневматическими зажимами										
Литье в песчаную форму	-	80	90	100	110	120	140	160	190	220

Таблица 2.34 продолжение

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Литье в постоянную форму	50	55	60	65	70	80	90	100	110	120
Литье по выплавляемым моделям или в оболочковые формы	35	40	50	55	60	70	80	90	–	–
Литье под давлением	25	30	35	40	50	60	70	80	–	–
Горячая штамповка	-	80	90	100	110	120	140	160	180	–
Горячекатаная	70	80	90	100	110	120	140	–	–	–
Предварительно обработанная	35	40	50	55	60	70	80	90	100	110
Чисто обработанная	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100
Шлифованная	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90

Примечания: 1. Поперечный размер заготовки принимать в сечении по нормали к обрабатываемой поверхности. 2. Погрешность закрепления дана по нормали к обрабатываемой поверхности.

Таблица 2.35

Погрешность закрепления при установке заготовок на опорные штифты приспособлений

Характеристика базовой поверхности	Погрешность закрепления ε_3 , мкм, при поперечном размере заготовки, мм									
	Свыше 6 до 10	Свыше 10 до 18	Свыше 18 до 30	Свыше 30 до 50	Свыше 50 до 80	Свыше 80 до 120	Свыше 120 до 180	Свыше 180 до 260	Свыше 260 до 360	Свыше 360 до 500
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Установка в зажимное приспособление с винтовыми или эксцентриковыми зажимами										
Литье в песчаную форму	–	100	125	150	175	200	225	250	300	350
Литье в постоянную форму	–	100	110	120	130	140	150	160	180	200

Таблица 2.35 продолжение

Литье по выплавляемым моделям или в оболочковые формы	80	90	100	110	120	130	140	150	–	–
Литье под давлением	70	80	90	100	110	120	130	140	–	–
Горячая штамповка	-	100	125	150	175	200	225	250	300	–
Горячекатаная	90	100	125	150	175	200	225	–	–	–
Предварительно обработанная	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170
Чисто обработанная	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
Шлифованная	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
Установка в зажимное приспособление с пневматическими зажимами										
Литье в песчаную форму	-	90	100	120	140	160	180	200	240	280
Литье в постоянную форму	-	80	90	100	110	120	130	140	160	180
Литье по выплавляемым моделям или в оболочковые формы	65	70	75	80	90	100	110	120	–	–
Литье под давлением	40	45	50	60	70	80	90	100	–	–
Горячая штамповка	-	90	100	120	140	160	180	200	240	–
Горячекатаная	70	80	100	120	140	150	180	–	–	–
Предварительно обработанная	65	70	75	80	90	100	110	120	130	140
Чисто обработанная	50	60	70	80	90	90	100	110	120	130
Шлифованная	40	50	60	70	80	80	90	100	110	120

Примечания: 1. Поперечный размер заготовки принимать наибольший в сечении по нормали к обрабатываемой поверхности. 2. Погрешность закрепления дана по нормали к обрабатываемой поверхности.

Таблица 2.36

Погрешность закрепления при установке заготовок
в самоцентрирующемся патроне

Характеристика базовой поверхности	Погрешность закрепления ε_3 , мкм, при поперечном размере заготовки, мм									
	Свыше 6 до 10	Свыше 10 до 18	Свыше 18 до 30	Свыше 30 до 50	Свыше 50 до 80	Свыше 80 до 120	Свыше 120 до 180	Свыше 180 до 260	Свыше 260 до 360	Свыше 360 до 500
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
В радиальном направлении										
Литье в песчаную форму	220	270	320	370	420	500	600	700	800	900
Литье в постоянную форму	150	175	200	250	300	350	400	450	550	650
Литье по выплавляемым моделям или в оболоч- ковые формы	50	60	70	80	100	120	140	160	200	250
Литье под давлением	25	30	35	40	50	60	70	80	100	125
Горячая штамповка на молотах	220	270	320	370	420	500	600	700	800	900
Горячая штамповка на прессах	150	200	250	300	350	400	450	500	–	–
Горячекатаная	220	270	320	370	420	500	600	–	–	–
Предварительно обра- ботанная	50	60	70	80	100	120	140	160	180	200
Чисто обработанная	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100
Шлифованная	12	15	16	20	25	30	35	40	45	50
В осевом направлении										
Литье в песчаную форму	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
Литье в постоянную форму	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
Литье по выплавляемым моделям или в оболоч- ковые формы	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
Литье под давлением	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Горячая штамповка на молотах	70	80	90	100	110	120	130	140	150	200
Горячая штамповка на прессах	50	60	70	80	90	100	110	120	130	150

Таблица 2.36 продолжение

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Горячекатаная	70	80	90	100	110	120	130	–	–	–
Предварительно обработанная	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Чисто обработанная	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Шлифованная	10	10	10	10	15	15	20	25	30	30

Таблица 2.37

Погрешности установки заготовок в патронах и на оправках без выверки

Установочный патрон или оправка	Квалитет точности выполнения базовой поверхности заготовок	Погрешность установки для направления, мкм	
		радиального	осевого
Цанговые оправки при диаметрах установочной поверхности, мм до 50 св. 50 до 200	7 - 9	10 - 35 20 - 60	20 50
Двухкулачковые патроны при диаметре детали 200 мм - с винтовым зажимом - с реечным зажимом	10 - 12 10	100 - 200 20 - 60	50 - 100 15 - 40
Цилиндрические оправки (установка с зазором)	8 - 10	В пределах допуска	10
Конусные оправки при отверстии длиной не менее 1,5d	7	30	Определяется размерами деталей и оправок
Патроны и оправки: с упругими втулками и гидропластмассой при l			
до 0,5 d	7 - 8	3 - 10	-
св. 3,0 d		10 - 20	-
с пластинчатыми (тарельчатыми) пружинами	7 - 9	10 - 20	-
с упругими втулками и роликами, опирающимися на тела, имеющие форму гиперboloида вращения	7 - 8	3 - 8	-
мембранные патроны	7 - 9	3 - 5	-
патроны и оправки с упругими элементами гофрированного типа	5 - 7	2 - 5	-
Примечания: 1. Применение пневматических и гидравлических силовых узлов позволяет уменьшить погрешность установки на 20 - 40%. 2. Обработку с использованием сырых кулачков и втулок применяют при обработке партии деталей не более 80 - 120 шт.			

Таблица 2.38

Погрешность установки заготовок на станках с выверкой по цилиндрической поверхности, мкм

Способ установки	Метод выверки	Погрешность установки заготовок
На центрах и регулируемых крестовинах	С двух концов в вертикальной и горизонтальной плоскостях и на биение	Мелких $\frac{0,5 - 1}{0,02 - 0,04}$
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	Средних $\frac{1 - 1,5}{0,03 - 0,06}$
В четырехкулачковом патроне	По наружному или внутреннему диаметру и торцу	Крупных $\frac{2 - 3}{0,05 - 0,08}$
На угольнике, по разметке	По диаметру и торцу	
<p>Примечание: погрешности, приведенные в числителе, относятся к выверке иглой по необработанной (большие значения) или грубо обработанной (меньшие значения) поверхности. В знаменателе приведены погрешности выверки с помощью индикатора по поверхности, обработанной чистовым точением</p>		

Таблица 2.39

Погрешность установки заготовок на станках с выверкой по плоской поверхности, мкм

Метод выверки	Наибольший размер поверхности, м			
	до 1	св.1 до 3	св.3 до 6	св.6
По разметке иглой	0,5	1	2	3
Индикатором по предварительно обработанной поверхности	0,15	0,2	0,4	0,6
Индикатором по чисто обработанной поверхности	0,05	0,08	0,10	0,15

3. Порядок расчёта припусков на обработку и предельных размеров

Рассмотрим порядок расчёта припусков на обработку и предельных размеров по технологическим переходам для наружных (внутренних) поверхностей.

1. Используя рабочий чертёж детали и карту технологического процесса механической обработки, записать в расчётную карту размер обрабатываемой элементарной поверхности заготовки и все технологические переходы в порядке последовательности их выполнения при обработке рассматриваемой элементарной поверхности.

2. Записать значения $R_{Z_{i-1}}$; T_{i-1} ; ρ_{i-1} ; ε_i и допусков по всем переходам. Значение допуска для конечного перехода берётся по чертежу, для переходов связанных с механической обработкой можно назначить по [табл. 2.3 – 2.23].

3. Рассчитать минимальные припуски на обработку по всем технологическим переходам по формулам.

4. Для конечного перехода в графу "Размер" записать наименьший и наибольший предельный размер детали по чертежу.

5. Для перехода, предшествующего конечному, рассчитать размер прибавлением к наименьшему предельному размеру (вычитанием из наибольшего предельного размера) по формулам:

для плоских наружных поверхностей

$$a_{\min i-1} = a_{\min i} + z_{\min i}$$

$$a_{\max i-1} = a_{\min i-1} + \delta_{i-1}$$

для круглых наружных поверхностей

$$D_{\min i-1} = D_{\min i} + 2z_{\min i}$$

$$D_{\max i-1} = D_{\min i-1} + \delta_{i-1}$$

для плоских внутренних поверхностей

$$a_{\max i-1} = a_{\max i} - z_{\min i}$$

$$a_{\min i-1} = a_{\max i-1} - \delta_{i-1}$$

для круглых внутренних поверхностей

$$D_{\max i-1} = D_{\max i} - 2z_{\min i}$$

$$D_{\min i-1} = D_{\min i-1} - \delta_{i-1}$$

где $2z_{\min i}$; $z_{\min i}$ – минимальный (расчетный) припуск на диаметр (сторону) на выполняемом технологическом переходе; $a_{\min i}$; $D_{\min i}$; $a_{\max i}$; $D_{\max i}$ – соответственно наименьший и наибольший предельные размеры, полученные на предшествующем технологическом переходе; δ_{i-1} – допуск на размер, полученные на предшествующем технологическом переходе.

6. Последовательно определить расчётные размеры для каждого

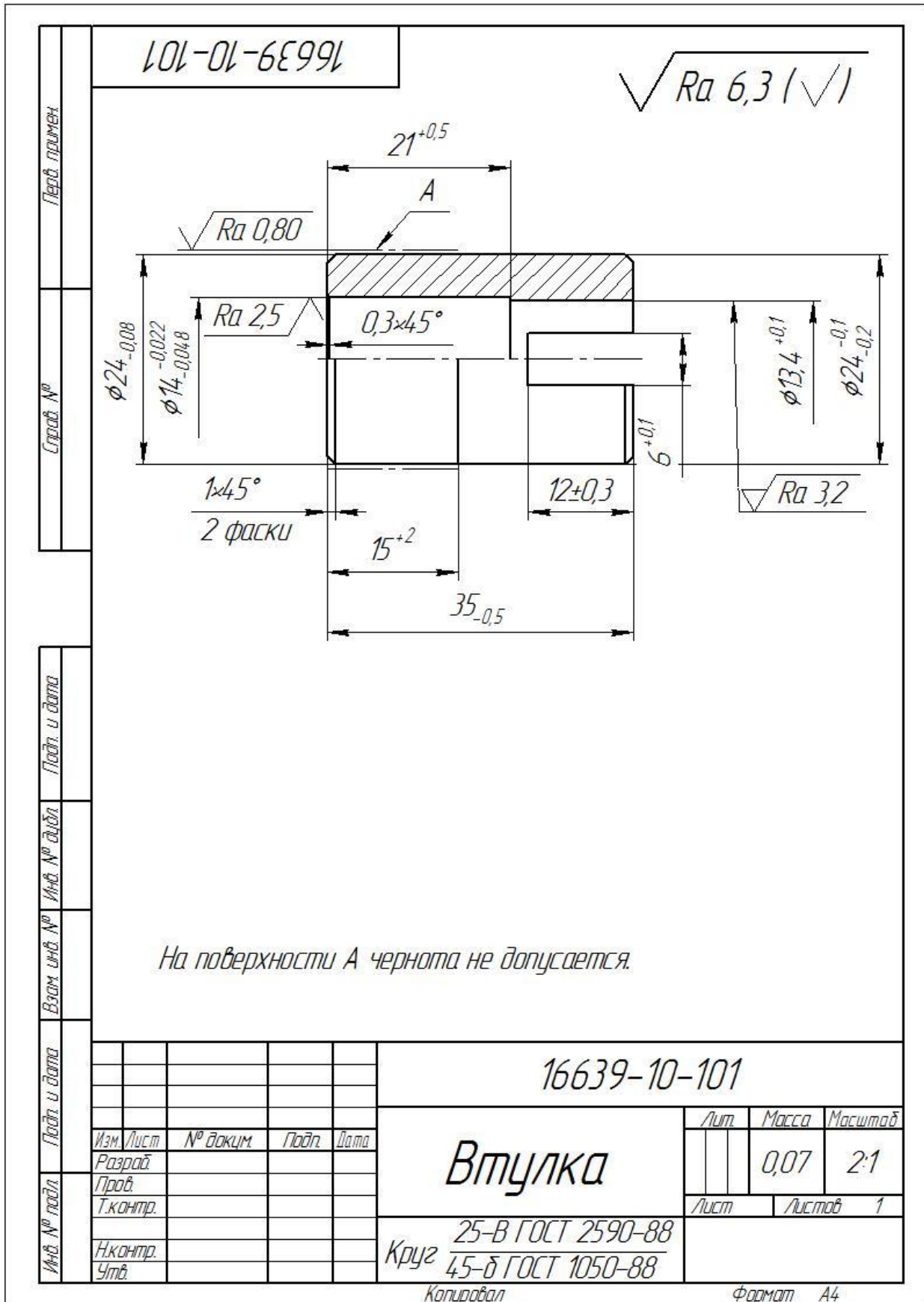
предшествующего перехода прибавлением к расчётному размеру (вычитанием из расчётного размера) следующего за ним смежного перехода расчётного припуска.

7. Записать наименьшие (наибольшие предельные размеры по всем технологическим переходам, округляя их увеличением (уменьшением) расчётных размеров, округление производить до того же знака десятичной дроби, с каким дан допуск на размер для каждого перехода.

8. Определить наибольшие (наименьшие) предельные размеры прибавлением (вычитанием) допуска к наименьшему (из наибольшего) предельному размеру.

4. ПРИМЕР РАСЧЕТА.

Произведем расчет припусков для детали



Расчет межоперационных припусков аналитическим методом произведем для поверхности $\varnothing 24 \text{ H}10(-0,08)$.

Последовательность переходов необходимых для получения поверхности:

1. Заготовка
2. Черновое точение
3. Чистовое точение
4. Полирование

Величина межоперационного припуска для:

лезвийной обработки тел вращения определяется по формуле

$$2Z_{i \text{ min}} = 2(Rz_{i-z} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{yi}^2})$$

для полирования

$$2Z_{i \text{ min}} = 2 * Rz_{i-z}$$

где Rz_{i-z} – высота неровностей профиля, полученная на предыдущем переходе, мкм; T_{i-1} – состояние и глубина поверхностного слоя, полученная на предыдущем переходе, мкм; ρ_{i-1} суммарное значение пространственных отклонений, оставшихся после выполнения предыдущего перехода, мкм; ε_{yi} – погрешность установки на выполняемом переходе, мкм.

В данном случае суммарное значение пространственных отклонений определяется по формуле

$$\rho = \rho_{\text{кор}}, \text{ мкм}$$

где $\rho_{\text{кор}}$ – погрешность коробления; мкм.

$$\rho_{\text{кор}} = \Delta k * d, \text{ мкм}$$

где Δk – удельная кривизна обрабатываемой поверхности, мкм/мм.

Принимаем $\Delta k = 12$ мкм/мм

[с.32, таб. 2.26]

$$\rho_{\text{кор}} = 12 * 35 = 420 \text{ мкм}$$

Для последующих переходов механической обработки резанем, значение остаточной пространственной погрешности определяется по формуле

$$\rho_{\text{ост}} = K_y * \rho$$

где K_y – коэффициент уменьшения исходной погрешности

Принимаем: после чернового точения $K_y = 0,06$;

после чистового точения $K_y = 0,04$

[с.36, таб. 2.30]

Рассчитываем значение остаточных пространственных отклонений:

После чернового точения

$$\rho_{\text{чер}} = 0,06 * 420 = 25 \text{ мкм}$$

После чистового точения

$$\rho_{\text{чер.ш}} = 0,04 * 420 = 17 \text{ мкм}$$

Погрешность установки для однопозиционной обработки определяется по формуле

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_3^2}, \text{ мкм}$$

где ε_{δ} – погрешность базирования, мкм; ε_3 – погрешность закрепления, мкм.

При черновом точения $\varepsilon_{\delta} = 0$; $\varepsilon_3 = 60$ мкм, при чистовом точении $\varepsilon_3 = 0$ мкм, т. к. обработка происходит без снятия детали.

[с.38, таб.2.31]

Тогда, $\varepsilon_y = 60$ мкм – при черновом точении; $\varepsilon_y = 0$ мкм – при чистовом.

Определяем величину межоперационного припуска по каждому переходу:

Черновое точение:

Значение для заготовки $Rz=150$ мкм; $T=250$ мкм

[с.10, таб.2.2]

$$2Z_{\min}=2(150 + 250 + \sqrt{420^2 + 60^2}) = 1650 \text{ мкм}$$

Чистовое точение

Значение черного точения $Rz=120$ мкм; $T=120$ мкм

[с.15, таб.2.9]

$$2Z_{\min}= 2(120 + 120 + 25) = 530 \text{ мкм}$$

Полирование

Значение для тонкого точения $Rz=6$ мкм

[с.15, таб. 2.9]

$$2Z_{\min}= 2 * 6 = 12 \text{ мкм}$$

Заносим полученные данные в таблицу

Таблица 9.

Наименование перехода	Элементы припуска, мкм				Припуск мкм	Допуск, мм	Размер, мм		Размер с допуском
	Rz	T	ρ	ϵ_y			d_{\min}	d_{\max}	
Заготовка	150	250	420	–		$\begin{smallmatrix} +0,3 \\ -0,7 \end{smallmatrix}$	25,784	26,784	$\begin{smallmatrix} \phi 28 \\ +0,3 \\ -0,7 \end{smallmatrix}$
Черновое точение	120	120	25	60	1650	$\begin{smallmatrix} 0 \\ -0,084 \end{smallmatrix}$	24,25	24,334	$\begin{smallmatrix} \phi 24,33 \\ -0,08 \end{smallmatrix}$
Чистовое точение	6	20	17	0	530	$\begin{smallmatrix} 0 \\ -0,08 \end{smallmatrix}$	23,932	24,012	$\begin{smallmatrix} \phi 23,01 \\ -0,08 \end{smallmatrix}$
Полирование	3	–	–	–	12	$\begin{smallmatrix} 0 \\ -0,08 \end{smallmatrix}$	23,92	24	$\begin{smallmatrix} \phi 24 \\ -0,08 \end{smallmatrix}$

Список использованных источников

1. Данилевский В. В. Технология машиностроения. – 5-е изд. перераб. и доп. Учебник для техникумов. – М.: Высшая школа, 1984. – 416 с.: ил.
2. Курсовое проектирование по предмету «Технология машиностроения». И. С. Добрынцев. М., «Машиностроение». 1985 г. – 184 с.
3. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. А. Ф. Горбацевич, В. А. Шкред: Учебное пособие для вузов. М.: ООО ИД «Альянс», 2007. – 256 с.
4. Расчет припусков и межпереходных размеров при обработке резанием : учеб. пособие / Ю.И.Кувалдин, В.Д.Перевощиков. – Киров: Изд-во ВятГУ, 2005. – 163 с.
5. Справочник технолога–машиностроителя. В двух томах. Том 2. Под ред. А.Г. Колиловой. М.: «Машиностроение» 1985 г. –496 с.
6. Технология машиностроения: Практикум и курсовое проектирование: учебное пособие для студентов учер. сред. проф. Образования. А.И. Ильянков, В. Ю. Новиков. М.: Издательский центр «Академия». 2012 – 432с
7. Харламов Г. А., Тарапанов А. С. Припуски на механическую обработку: Справочник. – М.: Машиностроение, 2006. – 256 с.