

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА

Ф.В. Гречников, Ю.С. Горшков, Н.Д. Проничев

**ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
КУЗНЕЧНО-ШТАМПОВОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И
ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ**

Учебное пособие

САМАРА 2004

УДК 621.73.073

Технология изготовления кузнечно-штамповочного оборудования и штамповой оснастки: Учебное пособие / Ф.В. Гречников, Ю.С. Горшков, Н.Д. Проничев; Под редакцией д-ра техн. наук, проф. Ф.В. Гречникова. Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 2004. 96 с.

ГРНТИ 55.16.03

В учебном пособии приведены основные понятия и определения технологического процесса изготовления кузнечно-штамповочного оборудования, (КШО). Изложены данные о влиянии технологических параметров на качество мехобработки. На примере типовых деталей КШО и штампов рассмотрены современные методы и способы их изготовления.

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальности 120400 "Машины и технология обработки металлов давлением". Может быть полезно студентам других механических специальностей.

Пособие подготовлено на кафедрах обработки металлов давлением и производства двигателей летательных аппаратов Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королева.

Содержание

1. Предмет изучения технологии машиностроения	5
Структура технологического процесса.....	5
2. Точность обработки.....	8
2.1 Точность и погрешность	8
2.2 Структура погрешности геометрических параметров	8
2.3 Определение первичных погрешностей обработки.....	11
2.3.1 Определение погрешностей, возникающих в результате упругих деформаций технологической системы под действием сил резания	12
2.3.2 Погрешности обработки, обусловленные деформацией заготовки под действием усилий закрепления	14
2.3.3 Определение погрешностей, связанных с упругими деформациями системы под влиянием нагрева	15
2.3.4 Погрешности, возникающие в результате размерного износа инструмента.....	15
2.3.5 Кинематические погрешности	17
2.3.6 Погрешности обработки, связанные с неточностью размерного и профильного инструмента	17
2.3.7 Погрешности обработки, связанные с геометрической неточностью станков	17
2.3.8 Погрешности, связанные с деформацией заготовок из-за перераспределения остаточных напряжений	18
2.3.9 Погрешности настройки станка	18
3. Базирование и установка заготовки	19
3.1 Понятие о базах	19
3.2 Понятие погрешности установки и ее структура.....	20
3.3 Первичные погрешности установки заготовки в приспособлении.....	20
3.4 Методы определения результирующей операционной погрешности	24
3.4.1 Погрешности систематические постоянные, закономерно изменяющиеся и случайные. Законы распределения погрешностей	24
Закон распределения закономерно изменяющейся погрешности.....	25
3.4.2 Расчетно-аналитический метод определения суммарной погрешности	28
4. Поверхностный слой деталей	35
4.1 Шероховатость поверхности	35
4.2 Влияние методов и режимов обработки на шероховатость поверхности	40
4.3 Влияние поверхностного слоя деталей на их эксплуатационные свойства	41
5. Последовательность разработки единичных технологических процессов.....	45
5.1 Изучение и анализ рабочего чертежа детали	45
5.2 Выбор вида, способа получения и формы заготовки	46
5.3 Установление планов обработки основных поверхностей деталей	46
5.4 Разделение технологического процесса на этапы	47
5.5 Формирование плана операций (маршрутной технологии)	47
5.6 Установление последовательности обработки основных поверхностей детали	48
5.7 Выбор оборудования	49
5.8 Выбор технологических баз	50
5.9 Определение припусков, операционных размеров и операционных допусков	51
5.10 Назначение операционных допусков.....	53
5.11 Определение операционных размеров	55
5.12 Технические требования на операцию	59
6. Технологические методы обработки.....	60

6.1 Методы получения заготовок	60
6.2 Методы обработки заготовок	65
6.2.1 Обработка резанием	65
6.2.2 Специальные методы обработки	73
7. Обработка типовых деталей кузнечно-штамповочного оборудования (КШО)	76
7.1 Особенности кузнечно-штамповочного машиностроения	76
7.2 Обработка тяжелых валов и колонн	76
7.3 Обработка коленчатых валов	81
7.4 Обработка цилиндров	84
7.5 Обработка ползунов	87
7.6 Обработка шкивов и маховиков	89
8. Изготовление штампов	92
8.1 Штампы для горячей штамповки	92
8.2 Штампы для холодной листовой штамповки	94
8.2.1 Изготовление нормализованных деталей	94
8.2.2 Изготовление специальных деталей	97
8.3 Сборка штампов	97
8.4 Особенности изготовления штампов с применением твёрдых сплавов	99
8.5 Особенности изготовления штампов с применением пластмасс	100
Библиографический список	102

1. Предмет изучения технологии машиностроения

Структура технологического процесса

Предметом изучения технологии машиностроения является изготовление машин требуемого качества, заданного количества, при наименьших затратах материалов, минимальной себестоимости и высокой производительности труда, максимально облегченного и безопасного. Рассмотрим более подробно основные элементы, составляющие предмет изучения, технологии машиностроения.

Заданное качество

Качество производимых машин имеет огромное значение. От него зависит экономическая эффективность использования техники. Качество закладывается в конструкции при проектно-конструкторских работах, обеспечивается на заданном уровне в процессе производства и поддерживается в процессе эксплуатации.

По ГОСТ 15467-70 под качеством промышленной продукции понимается совокупность свойств, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением. Качество машин характеризуется рядом показателей. К наиболее важным относятся эксплуатационные показатели: технический уровень машины, ее надежность, эргономичность, эстетичность.

- Технический уровень (мощность, КПД, производительность, экономичность, точность работы, степень автоматизации) определяет степень совершенства машины. Эти показатели оценивают в абсолютных и относительных единицах. Технический уровень машины зависит не только от конструкции, но и от технологии ее изготовления.
- Надежность включает в себя безотказность, долговечность, ремонтпригодность, а так же сохраняемость (свойство машины сохранять исправное и работоспособное состояние в течение определенного промежутка времени). Надежность в большей мере зависит от технологии, нежели от конструкции.
- Технология изготовления также влияет на эстетические характеристики (внешний вид, отделка) и в некоторой степени даже на эргономику.

Количество

Чем выше качество, тем дольше срок эксплуатации оборудования, и может быть снижено его количество: по этому качество влияет и на количество. Правда это наблюдается не всегда. С ростом качества растет спрос на продукцию. Выбор технологии изготовления во многом определяется объемом производства.

Минимальная себестоимость

В технологии машиностроения решаются задачи, относящиеся к конечным этапам производства машин. Эти процессы взаимосвязаны, наиболее трудоемки и составляют 80-90% от всей трудоемкости изделия. Технология влияет на минимизацию себестоимости с точки зрения стоимости основного и вспомогательного технологического оборудования, выбора способа и метода обработки, квалификации рабочего обслуживающего оборудование и др. Конечная цель получить изделие требуемого качества с минимумом материальных затрат.

Ниже приведены основные понятия и определения технологии машиностроения.

Производственный процесс - совокупность взаимосвязанных действий, в результате которых, исходные материалы и полуфабрикаты превращаются в готовые изделия, соответствующие своему назначению. Производственный процесс, включает в себя подготовку средств производства и организацию рабочих мест, получение и хранение материалов и полуфабрикатов, все стадии изготовления деталей машин, сборку изделий транспортировку материалов, заготовок, готовых изделий, технический контроль на всех стадиях производства, упаковка и др.

Технологический процесс - часть производственного процесса, содержащая действия по изменению и последующему определению состояния предмета производства.

Технологическая операция - законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте. Из перечисленных основные технологические операции: стадия изготовления, сборка. Остальные операции вспомогательные - это технологический контроль, маркировка и упаковка.

Технологический переход - законченная часть технологической операции, характеризуемая постоянством применяемого инструмента и поверхностей, образуемых обработкой или соединяемых при сборке.

Рабочий ход - законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемая изменением формы, размеров, качества поверхности или свойств заготовки.

Ниже приведена типовая схема (последовательность технологических процессов в машиностроении).



- литье
- обработка давлением
- резка сортового проката
- комбинированные методы

- мехобработка
- литье
- ОМД
- электрофизич. методы
- электрохим. методы

Рис.1 Типовая схема технологического процесса в машиностроении

В соответствии с ГОСТ 14004-83 в зависимости от номенклатуры, регулярности, стабильности и объема выпуска изделий, современное производство подразделяется на единичное, серийное и массовое.

Тип производства определяется по коэффициенту закрепления операций, который определяется отношением числа всех различных технологических операций, подлежащих выполнению, к числу рабочих мест. В таблице 1 приведены данные связи типа производств с некоторыми показателями производства.

Таблица 1 – Значения некоторых показателей производства от его типа

Показатель	Типы производств				
	Единичное	Серийное			Массовое
		мелко	средне	крупно	
1. Коэффициент закрепления операций	от 40 до 100	от 40 до 20	от 20 до 10	от 10 до 1	от 1 и выше
2. Номенклатура	широкая	ограниченная			узкая
3. Количество выпускаемой продукции	десятки штук	от десятков до тысяч штук			десятки тысяч штук и более
4. Оборудование	универсальное	универсальное, специализированное и частично специализированное оборудование, станки с ЧПУ, обрабатывающие центры			специальное высокопроизводительное оборудование, установленное в поточную линию
5. Технологическая оснастка	как правило специальная оснастка не применяется	универсальная, специальная			специальная
6. Технологическая документация	сокращенная, упрощенная	подробно разрабатывается для наиболее сложных заготовок, для простых деталей - упрощенная			разрабатывается детальным образом
7. Взаимозаменяемость	как правило пригонка по месту	полная, неполная, групповая			полная взаимозаменяемость
8. Заготовка	простейшая с большими припусками, (литье в землю, горячая прокатка)	горячий, холодный прокат, а также литье под давлением, поковки, точные штамповки			точные индивидуальные исходные заготовки, чеканка, литье давлением
9. Квалификация рабочих	очень высокая	средняя квалификация			низкая (высокая квалификация наладчиков)

2. Точность обработки

Развитие всех отраслей машиностроения, характеризуется непрерывным повышением требований к точности изготовления деталей и сборки изделий. Не менее важной является задача повышения точности всех технологических операций. Повышение точности заготовок и повышение точности каждой из операций механической обработки, начиная с черновых, позволяет уменьшить количество ступеней обработки каждой из поверхностей детали (число операций), что дает экономию металла и снижение трудовых затрат. Следует также отметить, что повышение точности механической обработки детали сокращает трудоемкость сборки машин благодаря частичному или полному устранению пригоночных работ. Сказанное выше указывает на необходимость уделять серьезное внимание вопросам точности на всех этапах создания изделия - при проектировании, при изготовлении его деталей, в процессе сборки и испытания.

2.1 Точность и погрешность

Под точностью обработки детали понимают степень ее приближения или степень ее соответствия заранее установленному прототипу или образцу. Основной целью механической обработки является достижение заданных значений геометрических параметров. Поэтому можно сформулировать понятие точности обработки следующим образом. Точность обработки детали (точность обработки) - это степень соответствия действительных геометрических параметров детали заданным.

Количественной характеристикой точности служит погрешность обработки - степень или величина несоответствия действительных полученных при обработке детали геометрических параметров заданным. Различают погрешности: формы, размеров поверхностей, координирующих размеров и соотношений.

С методической точки зрения целесообразно также различать три категории точности: заданную, действительную и ожидаемую. Заданная или требуемая точность регламентируется с помощью допусков, назначаемых конструктором на отдельные параметры детали или машины; действительная точность характеризуется погрешностью, которая может быть выявлена при измерении отдельных деталей, а ожидаемая или расчетная - погрешностью, которую предположительно или на основании расчетов можно ожидать после обработки.

Следовательно, ожидаемая точность - это точность, которую рассчитывают получить у всех деталей, которые будут изготовлены по данному технологическому процессу, на данном приспособлении, данным инструментом.

Она характеризуется величиной поля рассеяния ω заданного размера у некоторой совокупности деталей:

$$\omega = A_{д \max} - A_{д \min}$$

где $A_{д \max}$ и $A_{д \min}$ - наибольший и наименьший действительные размеры в пределах совокупности детали.

2.2 Структура погрешности геометрических параметров

Для анализа точности обработки целесообразно классифицировать погрешности по источникам и причинам их возникновения (по «происхождению»). Такими причинами могут считаться заготовка, оборудование и оснастка, но целесообразнее в основу классификации положить физические явления, обуславливающие появление

погрешностей: упругие деформации от действия сил резания, тепловые деформации, износ и т. д.

Заданные по чертежу значения геометрических параметров могут выполняться либо прямо, непосредственно либо косвенно, через другие параметры процесса. Например, требуемая глубина цементированного слоя выдерживается не непосредственно, а через ряд параметров: состав и массу карбюризатора, температурный режим, время цементации и т. д.

Оп.10 Фрезерная

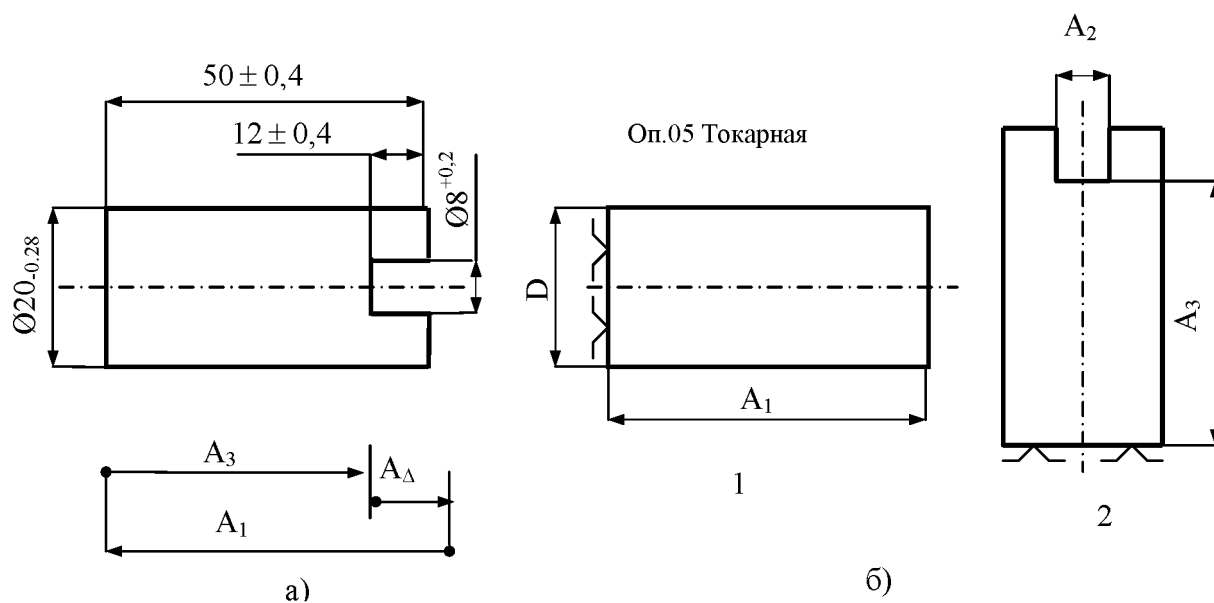


Рис. 2 Эскиз детали (а) и технологический процесс ее обработки (б):
1-токарная обработка; 2- фрезерование паза

На рис.2 слева приведен эскиз детали с заданными чертежными размерами, а справа - технологический процесс, состоящий из операций; 1- токарной обработки детали и 2 - фрезерования паза. Сопоставление чертежных и операционных размеров показывает, что чертежные размеры $20_{-0,28}$, $50 \pm 0,4$ и $8^{+0,2}$ выполняются непосредственно, им соответствуют операционные размеры D , A_1 и A_2 . Заданный же по чертежу размер $12 \pm 0,4$ выдерживается косвенно, через размеры A_1 и A_3 . В размерной цепи, приведенной на рис. 2а размер $12 \pm 0,4$ является замыкающим звеном A_{Δ} . Возможные предельные значения этого размера

$$A_{\Delta \max} = A_{1\max} - A_{3\min};$$

$$A_{\Delta \min} = A_{1\min} - A_{3\max}.$$

Вычитая нижнее уравнение из верхнего и, учитывая, что

$$A_{\Delta \max} - A_{\Delta \min} = \omega_{\Delta},$$

$$A_{1 \max} - A_{1 \min} = \omega_1, \quad A_{3 \max} - A_{3 \min} = \omega_3,$$

получим $\omega_{\Delta} = \omega_1 + \omega_3$. Погрешность ω_1 размера A_1 возникает в операции токарной обработки, а погрешность ω_3 размера A_3 – при фрезеровании. Поэтому обобщая, можно сказать, что погрешность размера или другого геометрического параметра в общем случае, при косвенном выполнении этого параметра, равна сумме операционных погрешностей, т.е. $\omega_{\Sigma} = \sum \omega_i$

Теперь рассмотрим состав операционной погрешности.

Из двух схем - односторонней и двухсторонней обработки общим случаем будет односторонняя обработка. Для этого общего случая операционная погрешность может быть представлена состоящей из двух частей:

$$\omega_i = \omega_{oi} + \omega_{yi}, \quad (2.1)$$

где ω_{oi} - часть операционной погрешности, связанная с методом обработки. В последующем для краткости будем называть ее погрешностью обработки;

ω_{yi} - часть операционной погрешности, связанная с методом установки детали и базированием. В последующем для краткости будем называть ее погрешностью установки.

На рис.3 показана операция фрезерования паза с выдерживанием размера A_3 по схеме односторонней обработки. Размер A_3 координирует обработанную поверхность (дно паза) относительно нижнего торца детали, являющегося базой. Вследствие воздействия различных факторов, связанных с методом обработки (упругие деформации узлов станка, износ инструмента и др.), обработанная поверхность у различных деталей партии будет занимать различное положение относительно базы обработки - станка в пределах поля ω_{oi} . Аналогично будет иметь место изменение положения базы (нижнего торца) у партии деталей за счет воздействия причин, связанных с установкой и базированием детали. На рис.3 показано поле этого колебания ω_{yi} . Тогда операционная погрешность - погрешность размера A_3 будет равна

$\omega_i = A_{3 \max} - A_{3 \min} = \omega_{oi} + \omega_{yi}$. Последнее равенство является доказательством уравнения (2.1). При выполнении размеров по схеме двухсторонней обработки, а также для размеров между поверхностями, обрабатываемыми при одной установке, способ не будет влиять на точность таких размеров, т.е. $\omega_{yi} = 0$. Для этого случая операционная погрешность $\omega_i = \omega_{oi}$. В свою очередь, каждая из составляющих ω_{oi} и ω_{yi} представляет собой сумму первичных или элементарных погрешностей соответственно обработки и установки. Первичной называют погрешность, обусловленную действием какого-либо (одного) производственного фактора, например, износа инструмента, тепловых деформаций детали и т.д. Для наглядности на рис. 4 изложенная классификация погрешностей представлена в виде схемы.

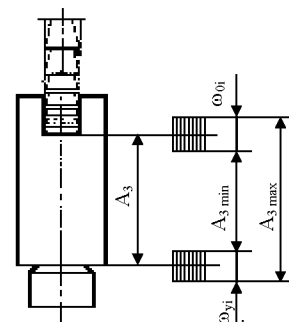


Рис. 3 Схема образования операционной погрешности

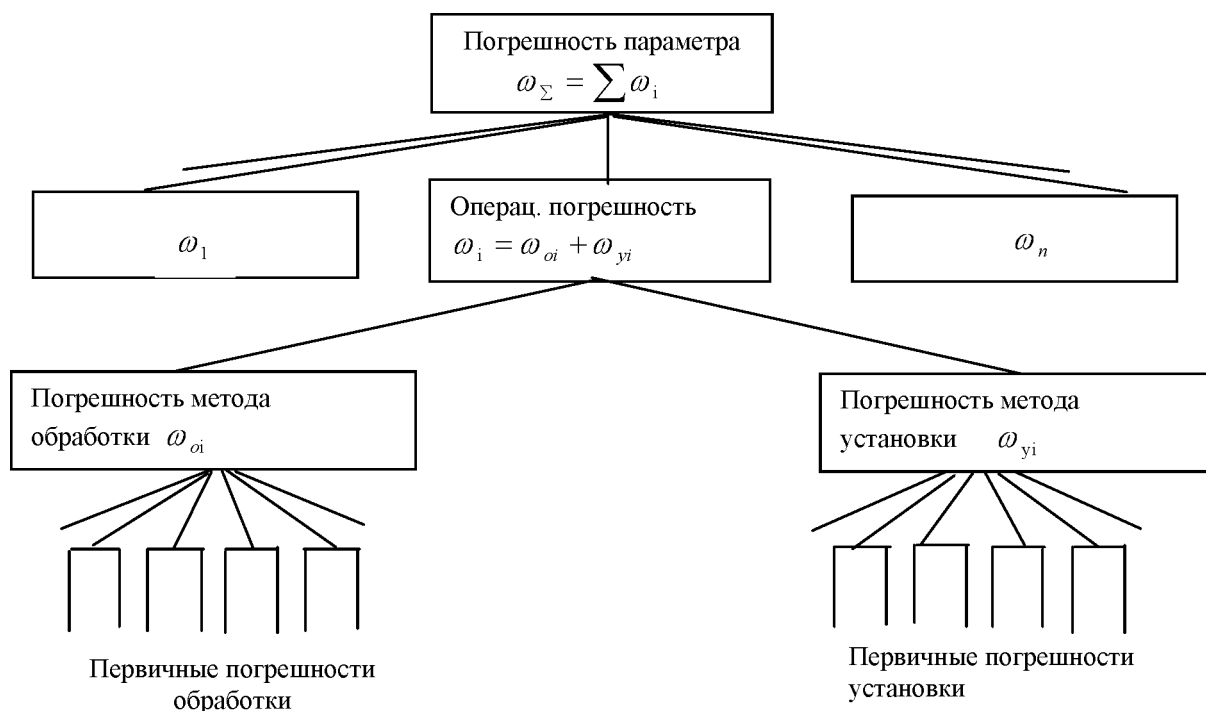


Рис. 4 Схема классификации погрешностей

2.3 Определение первичных погрешностей обработки

Определение первичных (элементарных) погрешностей обработки выполняется с целью получить качественные и количественные зависимости для оценки влияния основных производственных факторов на точность обработки, изыскать пути повышения точности обработки, получить исходные данные для определения расчетным путем результирующей (суммарной) операционной погрешности. Каждая из первичных погрешностей может быть определена аналитическими или экспериментальными методами. Наиболее достоверные результаты получаются при сочетании, совместном использовании обоих названных методов.

В реальных производственных условиях факторы, вызывающие появление погрешности обработки, действуют одновременно, совместно. При установлении же зависимости между отдельно взятым производственным фактором и обусловленной его воздействием первичной погрешностью допускают, что в это время другие факторы как бы отсутствуют, не действуют. Такой методический прием является вынужденным, так как не представляется возможным одновременно влияние всех причин.

2.3.1 Определение погрешностей, возникающих в результате упругих деформаций технологической системы под действием сил резания

Механическая обработка заготовок на металлорежущих станках выполняется с использованием приспособлений и инструментов. Все узлы и устройства, участвующие в процессе обработки, и обрабатываемая заготовка образуют упругую технологическую систему: станок – приспособление – инструмент – заготовка. Для оценки величины погрешности важной характеристикой системы является ее жесткость, т. е. способность оказывать сопротивление действию деформирующих ее сил.

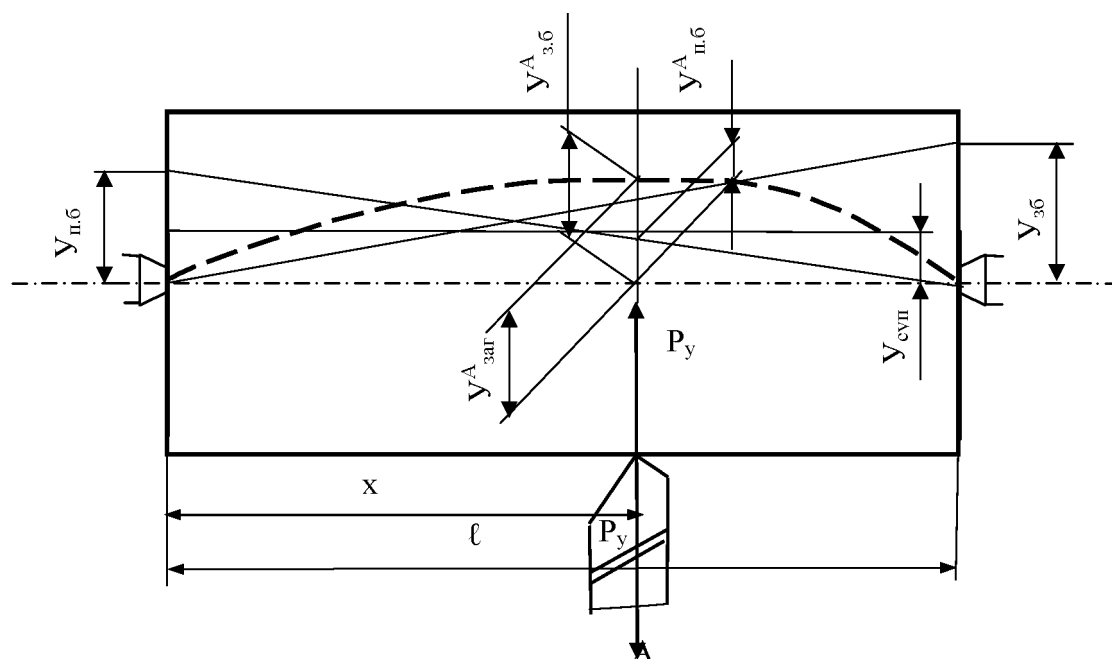


Рис. 5 Структура перемещений при обработке вала в центрах

Жесткость упругой технологической системы выражается отношением составляющей усилия резания, направленной по нормали обрабатываемой поверхности P_y , к смещению лезвия инструмента относительно заготовки y , отсчитываемому в том же направлении:

$$j = \frac{P_y}{y} \text{ (Н/мм)} \quad (2.2)$$

Упругие деформации технологической системы возникают под действием всех составляющих силы резания. Но формула жесткости учитывает влияние только составляющей P_y . Это объясняется тем, что деформация системы $y = P_y/j$ влияет на точность размера (например, диаметра) прямо, непосредственно, в то время как деформация под действием других составляющих влияет на точность размера косвенно, незначительно.

Для практических целей удобнее пользоваться понятием податливости, численно равной обратной величине жесткости

$$w = \frac{1}{i} \text{ (мкм/Н)} \quad (2.3)$$

Величина податливости равна отношению величины смещения лезвия инструмента y к величине нормальной составляющей усилия резания P_y

$$w = \frac{y}{P_y} \text{ (мкм/Н)} \quad (2.4)$$

Жесткость системы зависит от жесткости составляющих ее элементов: станка, инструмента, приспособления и заготовки. Жесткость станка, в свою очередь, зависит от жесткости его узлов.

Рассмотрим для примера структуру жесткости системы для случая обработки гладкого вала на токарном станке, с установкой в центрах (рис. 5). Суммарное перемещение лезвия инструмента относительно заготовки в сечении A будет равно

$$y^A = y_{n.б}^A + y_{з.б}^A + y_{суп} + y_{заг}^A \quad (2.5)$$

Обозначим через $w_{п.б}$, $w_{з.б}$, $w_{суп}$, $w_{заг}$ податливость соответственно передней бабки, задней бабки, суппорта и заготовки и опуская промежуточные выкладки, можно записать:[7]

$$\text{суммарное упругое перемещение системы } y^A = P_y w^A \quad (2.6)$$

$$\text{перемещение за счет деформации передней бабки } y_{n.б}^A = P_y w_{n.б} \frac{\ell - x}{\ell} \quad (2.7)$$

$$\text{перемещение за счет деформации задней бабки } y_{з.б}^A = P_y w_{з.б} \frac{x}{\ell} \quad (2.8)$$

$$\text{перемещение за счет деформации суппорта } y_{суп} = P_y w_{суп} \quad (2.9)$$

перемещение за счет деформации заготовки

$$y_{заг}^A = P_y w_{заг}^A = \frac{P_y}{3EI} \frac{x^2(1-x)^2}{\ell} \quad (2.10)$$

Подставляя в эти значения перемещений, получим выражение для податливости технологической системы

$$w^A = w_{n.б} \left(\frac{\ell - x}{\ell} \right)^2 + w_{з.б} \left(\frac{x}{\ell} \right)^2 + w_{суп} + \frac{x^2(\ell - x)^2}{3EI\ell} \quad (2.11)$$

Уравнение (2.11) показывает, что податливость (жесткость) системы по длине обработки не остается постоянной.

Жесткость станка или отдельных его узлов определяется экспериментальным путем. Жесткость (податливость) заготовки в простейших случаях можно рассчитать, пользуясь формулами из курса сопротивления материалов. Так, обрабатываемую заготовку в форме гладкого вала, установленную в центрах, можно уподобить балке,

лежащей на двух опорах с нагрузкой P_y по середине пролета. Деформация заготовки

$$Y_{заг} = \frac{P_y \ell^3}{48EI}, \text{ а податливость } w = \frac{y}{P_y} \text{ или } w_{заг} = \frac{\ell^3}{48EI} \quad (2.12)$$

Аналогично можно установить уравнение для податливости заготовки валика с установкой в патроне (2.13) и в патроне с поддержкой задним центром (2.14):

$$w_{заг} = \frac{\ell^3}{3EI} \quad (2.13) \quad \text{и} \quad w_{заг} = \frac{\ell^3}{110EI} \quad (2.14)$$

Уравнения (2.12) - (2.14) показывают, что способ установки и закрепления заготовки в очень большой степени влияет на ее податливость (жесткость).

А, следовательно, и не величину погрешностей формы, размеров и расположения обрабатываемых поверхностей.

2.3.2 Погрешности обработки, обусловленные деформацией заготовки под действием усилий закрепления

При закреплении заготовок усилия зажима достигают больших значений. Так, при закреплении заготовки в трехкулачковом патроне диаметром 240 мм зажимное усилие, передаваемое каждым кулачком на заготовку, может составлять 7000—8000 Н. При этом недостаточно жесткие заготовки (например, тонкостенные втулки) получают значительные упругие деформации.

Если расточить отверстие втулки в деформированном состоянии, оно будет круглым при зажатом положении (рис.6 а). Но если заготовку после обработки снять со станка, обработанное отверстие будет иметь погрешность формы - гранность (рис.6 б).

При закреплении в патроне с четырьмя и большим числом кулачков, а также при использовании сегментных кулачков, деформация заготовок и погрешности формы будут значительно меньше.

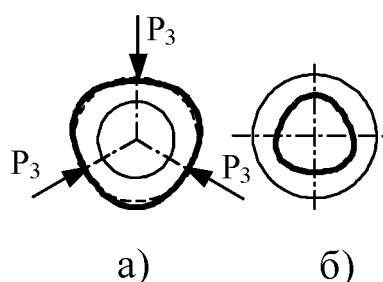


Рис.6 Погрешность формы нежесткой заготовки в результате деформации от сил закрепления

а) после закрепления во время обработки

б) после обработки и снятия

2.3.3 Определение погрешностей, связанных с упругими деформациями системы под влиянием нагрева

В процессе обработки заготовок элементы системы - станок, заготовка, инструмент, приспособление находятся под непрерывным воздействием различных тепловых источников. Нагревание элементов системы ведет к их температурным деформациям и к возникновению погрешностей обработки.

а) погрешности от температурных деформаций станка

При работе станков в наибольшей степени нагреваются шпиндельные бабки: температура в различных точках бабки повышается от 10 до 50° С. Нагрев узлов станка обуславливает изменение их взаимного расположения. Для оценки точности обработки необходимо учитывать перемещение передней и задней бабок и суппорта относительно станины в направлении нормали к обрабатываемой поверхности. Температурные деформации узлов станка невелики – 8-12 мкм. Для предупреждения появления погрешностей от температурных деформаций станков при точных работах производят их предварительный прогрев обкаткой вхолостую в течение 2-3 ч.

б) погрешности от температурных деформаций инструмента

Теплота резания, переходящая в инструмент, вызывает его нагревание и удлинение. В связи с тем, что при обработке твердосплавным инструментом без охлаждения температурные деформации его бывают значительными: удлинение резца, например, может достигать 30 -50 мкм. Вся тепловая деформация инструмента может переноситься на размер детали.

в) погрешности от температурных деформаций заготовки

При механической обработке более 10% теплоты резания переходит в заготовку, вызывая ее нагревание и деформации. Характер погрешности обработки зависит от равномерности нагрева. При неравномерном нагревании заготовки возникает ее коробление, приводящее к образованию погрешности формы.

Количество теплоты резания, переходящее в заготовку, зависит от режимов резания и других факторов. При увеличении глубины резания температура заготовки t возрастает. С увеличением скорости резания v увеличивается скорость перемещения температурного поля, в результате чего нагрев заготовки уменьшается.

При прочих равных условиях повышение температуры заготовки зависит в большей степени от конструкции детали: тонкостенные, ажурные детали нагреваются значительно сильнее, чем массивные, сплошные заготовки. Если заготовка в период обработки имела размер в пределах допуска, то при остывании обнаружится погрешность размера. Величина этой погрешности в значительной степени зависит от теплопроводности материала детали. Например, для титановых деталей имеющих низкую теплопроводность, эта погрешность увеличивается. Для уменьшения этой погрешности обеспечивается эффективное охлаждение и увеличивается скорость перемещения источника нагрева (зоны резания) и снижения его интенсивности за счет режимов обработки.

2.3.4 Погрешности, возникающие в результате размерного износа инструмента

Износ инструмента, измеряемый по нормали к обрабатываемой поверхности и непосредственно влияющий на точность, принято называть размерным. Применительно к обтачиванию резцами размерный износ - это радиальный износ. Размерный износ обозначают u (рис.7), измеряют в мкм и выражают в зависимости от пути резания L . На кривой $u=f(L)$ имеется три характерных участка (рис.7): I - начального износа, II - нормального износа и III - интенсивного износа, когда нужно прекращать резание во избежание разрушения режущей кромки резца. Путь резания для начального износа составляет 500 - 1000 м, для участка нормального износа – 1000 - 40000 м (для резцов Т30К4).

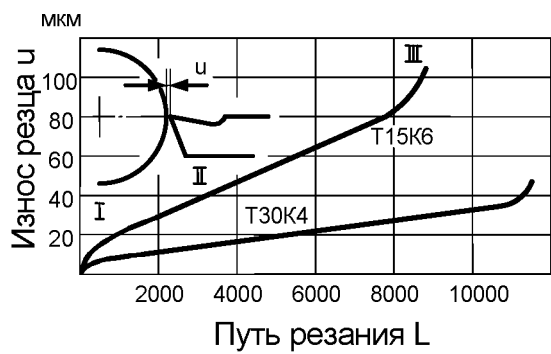


Рис.7 График размерного износа резцов

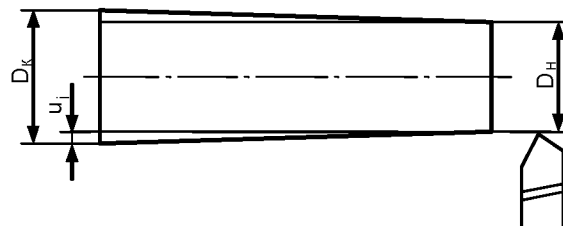


Рис.8 Схема образования погрешности формы в результате размерного износа инструмента

На участке нормального износа зависимость $u=f(L)$ носит линейный характер. Это дает основание характеризовать интенсивность износа величиной относительного или удельного износа u_o в мкм/км.

$$u_o = \frac{u}{L} \times 1000 \quad (2.15)$$

Следовательно, относительный износ-это размерный износ за путь резания в 1000 м (1 км.). Значение u_o зависит от материала обрабатываемой заготовки, режимов резания, марки материала режущего инструмента, интенсивности охлаждения и других факторов. Непосредственным результатам влияния размерного износа будет появление погрешности формы.

2.3.5 Кинематические погрешности

Кинематическими называют погрешности, возникающие при замене точной схемы обработки приближенной схемой.

Например, при фрезеровании резьбы дисковой фрезой ось ее устанавливается под углом наклона винтовой линии, относительно оси изделия схема обработки получается точной. Но при фрезеровании резьбы групповой фрезой используется приближенная схема: ось фрезы устанавливается параллельно оси изделия, вследствие чего возникает погрешность профиля резьбы, которая по своему характеру является кинематической.

2.3.6 Погрешности обработки, связанные с неточностью размерного и профильного инструмента

Всегда имеет место копирование (перенос на деталь) неточностей размерных и профильных инструментов. Если, например, размер протяжки будет на 0,03 мм больше требуемого, то во всех заготовках, обработанных этой протяжкой, размер отверстий будет завышен на такую величину. Сказанное объясняет, почему допуски на размерные режущие инструменты (развертки, зенкера, сверла, пазовые резцы и фрезы) назначаются во много раз меньшими допусков на размеры соответствующих обрабатываемых поверхностей.

Профильные инструменты - резьбовые резцы и фрезы, зуборезные инструменты, фасонные резцы, фрезы и шлифовальные круги. Неточность профиля таких инструментов, независимо от причины ее возникновения, переносится на деталь, обуславливая появление погрешностей формы.

2.3.7 Погрешности обработки, связанные с геометрической неточностью станков

Существуют нормы точности станков, которыми регламентируются неточности станка в ненагруженном состоянии - геометрические неточности. Каждая из геометрических неточностей станка служит причиной появления соответствующей погрешности обработки. Например, непараллельность оси шпинделя токарного станка направлению движения суппорта в горизонтальной плоскости служит причиной возникновения конусности заготовок, обрабатываемых с установкой в патроне. В процессе эксплуатации происходит интенсивный износ рабочих поверхностей станков. В результате износа, и особенно вследствие неравномерного износа частей станка, геометрические неточности его значительно возрастают, обуславливая увеличение соответствующих погрешностей обработки.

2.3.8 Погрешности, связанные с деформацией заготовок из-за перераспределения остаточных напряжений

Остаточными называют напряжения, которые существуют в материале заготовки при отсутствии воздействия внешних сил. Остаточные напряжения возникают в процессе выполнения предшествующей обработки и остаются после ее окончания.

Это происходит как при литье, сварке, обработке давлением, так и при всех видах механической обработки. Механизм их образования довольно сложен. Причиной могут быть: силовой фактор, неравномерный нагрев и охлаждение, структурно- фазовые превращения и пр.

Причем остаточные напряжения, растягивающие и сжимающие, уравновешены в детали. Если, например, взять стальную пластину после фрезерования и проштамповать с одной стороны, то $\sigma_{ост}$ перераспределяется, придя вновь в равновесное состояние, но изделие при этом деформируется. Поэтому, перед окончательной чистовой обработкой целесообразно принять отжиг для уменьшения $\sigma_{ост}$, полученных до этого.

2.3.9 Погрешности настройки станка

Настройка станков представляет собой процесс первоначального установления требуемой точности относительного положения и движения исполнительных поверхностей инструмента, станка и приспособления с целью получения заданной точности обрабатываемых заготовок.

В практике машиностроения используются два метода настройки станков: настройка с обработкой пробных заготовок и статическая настройка или настройка по эталонам. В первом случае установку режущего инструмента в требуемое положение производят путем последовательного приближения к заданному настроечному размеру (часто $L_{сп}$) в результате обработки на станке пробных заготовок. По данным измерения размеров пробных заготовок определяют величину и направление необходимой корректировки инструмента. По второму методу режущий инструмент настраивают в требуемое положение по эталону в нерабочем статическом состоянии станка или вне его.

Погрешность настройки будет зависеть от точности средств настройки и метода настройки. При установке по жестким упорам погрешность настройки обычно 20...25мкм, а по индикаторным упорам – 10...15мкм.

3. Базирование и установка заготовки

3.1 Понятие о базах

Для обработки заготовки должны быть установлены в технологической системе с высокой точностью и надежно закреплены. Существуют три вида установки заготовки при обработке:

1. Установка с выверкой, применяется в единичном и мелкосерийном производстве. При этом требуется большой опыт и квалификация рабочего. Установка отнимает много времени.
2. Установка с выверкой по разметочным рискам, применяется главным образом при изготовлении деталей имеющих обрабатываемые и необрабатываемые поверхности, но при этом вырастает трудоемкость операции.
3. Установка детали в приспособлении это наиболее совершенный способ установки при минимальной затрате времени. Приспособления применяют в серийном и массовом производствах.

Элементы заготовки, определяющие ее положение при установке, называются базами.

Соответственно базированием называют (ГОСТ 21495-76) придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат.

В машиностроении различают три класса баз: конструкторские, технологические и измерительные.

Конструкторская база (ГОСТ 21495-76)- это база, используемая для определения положения детали или сборочной единицы в изделии. То есть эта база ориентирует деталь в собранном механизме относительно других деталей. Это, например, осевые отверстия втулок и шестерен, опорные шейки валов, направляющие станины, суппортов и др. (КБ)

Исходной базой - называют поверхности, относительно которых требуется выдержать расположение обрабатываемой поверхности. Часто такая поверхность создается искусственно, только для установки детали во время обработки, как, например, центровые отверстия валов. (ИБ)

Измерительная база- (ГОСТ 21495-76) поверхности, от которых производится контроль размеров детали. С точки зрения технологии механической обработки, измерительная база- это поверхность, образующая поверхности, точка поверхности, относительно которой, измерением проверяют положение обработанной поверхности, т.е. проверяют выполненный при обработке размер. (ИБ)

Установочная база- это поверхность (линия, точка) при установке по которой, достигается заданное положение заготовки относительно станка, приспособления, инструмента (УБ). Установочные базы могут быть опорными и проверочными.

Измерительная и исходная базы во многих случаях совпадают.

Для достижения максимальной точности нужно стремиться к тому, чтобы конструкторская, исходная и измерительная базы совпадали.

В процессе обработки заготовка должна занимать определенное положение. Для этого необходимо, чтобы она не имела возможности перемещаться в трех взаимно перпендикулярных плоскостях, а так же поворачиваться вокруг трех взаимно

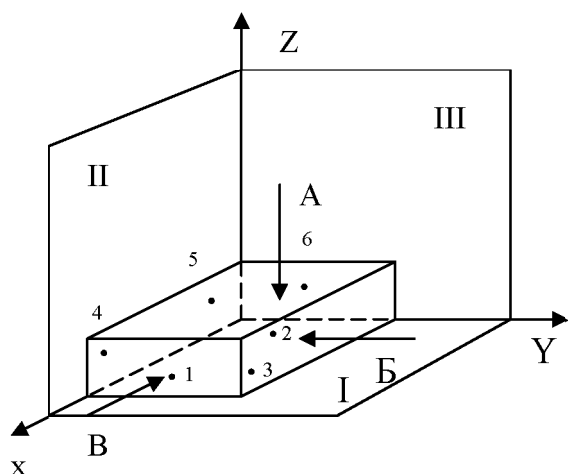


Рис. 9 Схема базирования

перпендикулярных осей, т.е. она должна быть лишена шести степеней свободы (рис.9).

Плоскость XOY называется установочной. Опоры 1,2,3 и сила А лишает деталь трех степеней свободы: перемещения вдоль оси OZ и вращения вокруг осей OX и OY. Плоскость XOZ называется направляющей. Опоры 4, 5 и сила Б лишают деталь еще двух степеней свободы: перемещения вдоль оси OY и вращения вокруг оси OZ. Плоскость ZOY называют упорной. Опора 6 и сила В лишают деталь последней степени свободы: перемещения вдоль оси OX. Таким образом, положение детали в приспособлении определяется с помощью правила шести точек, согласно которому для устойчивого положения детали необходимо иметь шесть жестких опорных точек: три в установочной плоскости, две в направляющей и одна в упорной. Правило шести точек - основное правило при базировании.

3.2 Понятие погрешности установки и ее структура

Как было установлено ранее, операционная погрешность в общем случае (при односторонней обработке) может быть представлена в виде суммы двух слагаемых: погрешности ω_0 , зависящей от принятого метода обработки, и погрешности ω_y , связанной с методом базирования и установки заготовки:

$$\omega_i = \omega_{0i} + \omega_{yi} \quad (3.1)$$

Погрешностью установки называется часть операционной погрешности, связанная с базированием и установкой заготовки и представляющая собой разность предельных расстояний исходной базы, измеренных относительно настроенного инструмента в направлении операционного размера.

Размерный анализ точности обработки на настроенном станке показывает, что погрешность установки включает две составляющие:

$$\omega_{yi} = \omega_{y.z} + \omega_{пр} \quad (3.2)$$

$\omega_{y.z}$ — погрешность установки заготовки в приспособлении; $\omega_{пр}$ — погрешность расположения установочных элементов приспособления относительно станка. Первая из них — $\omega_{y.z}$ представляет собой разность предельных расстояний исходной базы заготовки, отсчитываемых относительно установочных элементов приспособления в направлении заданного размера; вторая составляющая $\omega_{пр}$ — разность предельных расстояний установочных элементов приспособления относительно станка. $\omega_{y.z}$ и $\omega_{пр}$ являются также составными: $\omega_{y.z}$ состоит из первичных (элементарных) погрешностей установки детали в приспособлении, а $\omega_{пр}$ является суммой первичных погрешностей приспособления и погрешностей установки его на станке. Сказанное можно выразить следующими соотношениями:

$$\omega_{y.z} = \sum \omega_{y.zi} \quad (3.3) \quad \text{и} \quad \omega_{пр} = \sum \omega_{при} \quad (3.4)$$

Причины, обуславливающие возникновение первичных или элементарных погрешностей установки заготовки в приспособлении, будут рассмотрены ниже. Факторы, влияющие на состав и величину первичных погрешностей приспособления, рассматриваются при анализе приспособлений.

3.3 Первичные погрешности установки заготовки в приспособлении

Как уже отмечалось, на точность установки заготовки в приспособлении влияет большое число производственных факторов. В результате воздействия каждого из них возникают первичные или элементарные погрешности установки

заготовки в приспособлении $\omega_{y.zi}$. Цель и методика определения $\omega_{y.zi}$ полностью аналогичны целям и способам определения первичных погрешностей обработки. Следует оговорить, что излагаемый ниже анализ относится к случаям установки заготовок в приспособлении без выверки, характерным для условий крупносерийного и массового производства.

Факторами, ощутимо влияющими на точность установки заготовки в приспособлении, являются:

- а) упругие и пластические деформации установочной поверхности заготовки под действием сил закрепления и сил резания;
- б) геометрические и динамические погрешности приспособлений;
- в) система простановки операционного размера;
- г) схема установки;
- д) погрешности формы и размеров базирующей поверхности;
- е) несовмещение исходной и установочной баз.

Из всех приведенных первичных погрешностей наибольший интерес представляет анализ по точности в зависимости от простановки операционного размера.

На рис.10, а показан операционный эскиз фрезерования площадки на цилиндрическом валике, диаметр которого $D-\delta_D$. Приведены 3 возможных варианта простановки операционного размера A_1 — от исходной базы — оси детали, A_2 — от нижней образующей цилиндра и A_3 , когда в качестве исходной базы принимается верхняя образующая. Для анализа принята одна из возможных схем установки на призме с углом при вершине α . На рис.10, б приведена расчетная схема, на которой показаны два контура с предельно допустимыми значениями диаметра: D и $(D-\delta)$. Определение искомой величины погрешности установки заготовки будет

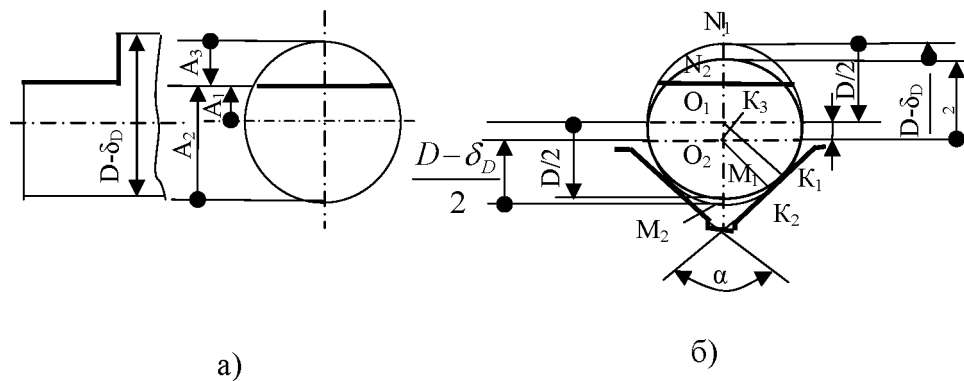


Рис.10. Схемы к определению погрешности установки цилиндрической заготовки на призме при различных схемах простановки операционного размера

сводиться к расчету разности предельных расстояний исходной базы относительно установочного элемента приспособления — призмы в направлении заданного размера, т. е. в вертикальном направлении[7].

Для первого варианта (рис.10, б), когда за исходную базу принята ось валика, искомая величина будет $\omega_{y.zi} = O_1O_2$. На рисунке обозначены: O_1 и O_2 — оси окружностей, соответствующих предельным контурам детали; O_1K_1 и O_2K_2 — радиусы окружностей, проведенные перпендикулярно к плоскости призмы.

Из прямоугольного треугольника $O_1O_2K_3$

$$O_1O_2 = \frac{O_1K_3}{\sin \angle O_1O_2K_3}, \text{ но } O_1K_3 = \frac{\delta_D}{2}, \text{ а } \angle O_1O_2K_3 = \frac{\alpha}{2}.$$

$$\text{Тогда } \omega_{y.zi} = O_1O_2 = \frac{\delta_D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}. \quad (3.5)$$

Для **второго варианта** когда за исходную базу принята нижняя образующая цилиндрической поверхности, искомая величина будет равна колебанию положения этой образующей в направлении заданного размера (вертикальном): $\omega_{y.zi} = M_1M_2$.

$$\text{По приведенной слева на рис.10, б цепи } M_1M_2 = \frac{D - \delta_D}{2} + O_1O_2 - \frac{D}{2}.$$

Но $O_1O_2 = \frac{\delta_D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$ (было найдено в предыдущем варианте). После подстановки

получаем

$$\omega_{y.zi} = M_1M_2 = \frac{\delta_D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right). \quad (3.6)$$

Для **третьего варианта**, когда за исходную базу принята верхняя образующая цилиндрической поверхности, искомая величина погрешности установки будет равна отрезку N_1N_2 , т.е. разности предельных расстояний этой образующей. Из приведенной справа на рис.10, б размерной цепи

$$\omega_{y.zi} = N_1N_2 = \frac{D}{2} + O_1O_2 - \frac{D - \delta_D}{2}, \text{ но } O_1O_2 = \frac{\delta_D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}. \quad (3.7)$$

После подстановки и небольших преобразований получаем:

$$\omega_{y.zi} = N_1N_2 = \frac{\delta}{2} \left(\frac{1}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right). \quad (3.8)$$

Сравнение уравнений (3.5), (3.6) и (3.8) показывает, что система простановки операционного размера оказывает большое влияние на величину погрешности установки заготовки в приспособлении. Наибольшее значение $\omega_{y.zi}$ принимает при простановке размера от верхней образующей (3-й вариант), наименьшее - при выборе в качестве исходной базы нижней образующей (2-й вариант). Уравнения показывают

также на большую зависимость $\omega_{y,zi}$ от угла при вершине призмы; с увеличением α до значения $\alpha = \pi$ значения $\omega_{y,zi}$ будут уменьшаться, при уменьшении α величина $\omega_{y,zi}$ значительно возрастает.

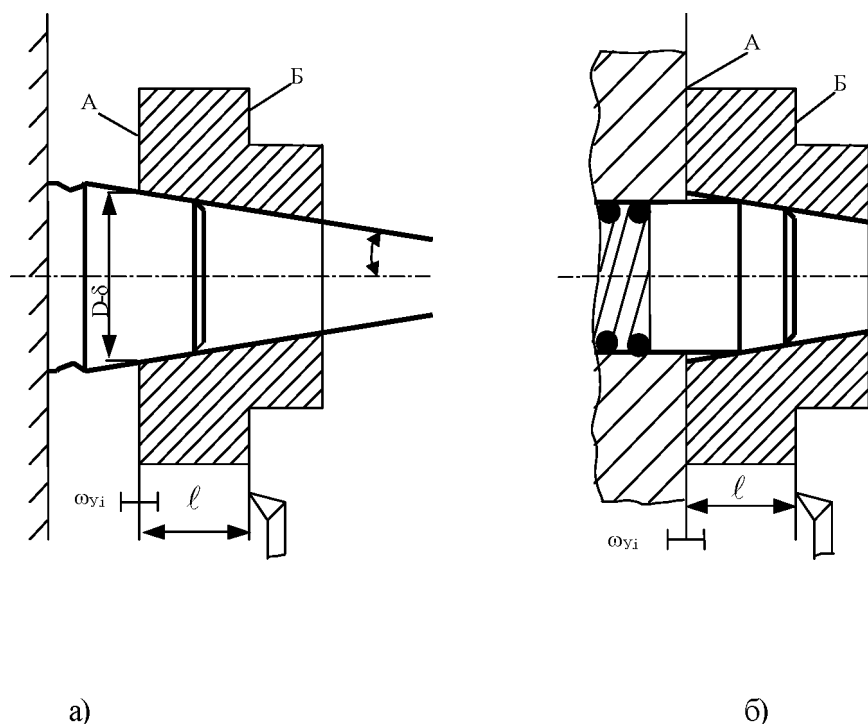


Рис.11 Схема к определению погрешности установки на а) жесткой и б) плавающей оправках

Зависимость погрешности установки от точности базирующих поверхностей можно проанализировать на примере операции подрезки торца заготовки, которая установлена на жесткую (вариант, а рис.11) или плавающую (вариант, б рис.11), коническую оправку (например, обработка валика в центрах с использованием жесткого и плавающего центров). Подрезка торца Б проводится настроенным инструментом, при этом выдерживается операционный размер l . Для варианта а рис.11 погрешность установки $\omega_{y,z} = \frac{\delta}{2} \operatorname{tg} \alpha$, для варианта б рис.11 $\omega_{y,z} \rightarrow 0$ и не зависит от точности базового отверстия.

Обобщением этих погрешностей является погрешность, возникающая при не совмещении измерительной (исходной) и установочной баз.

В практике машиностроения встречается много случаев, когда по тем или иным причинам не удастся совместить исходную и установочную базы (ИБ \neq УБ). При этом возникает погрешность установки заготовки. На рис.12 показан эскиз обработки плоскости на размер A . Исходной базой

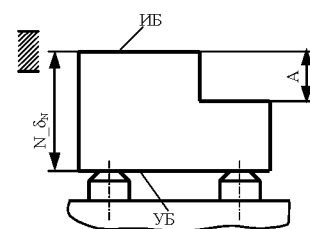


Рис.12 Погрешность от несовмещения установочной и исходной баз

является верхняя плоскость, установочной — нижняя плоскость.

Даже если отсутствуют другие факторы, нарушающие точность установки, то за счет колебания размера N связывающего исходную и установочную базы, в пределах допуска, расстояние исходной базы от установочных элементов приспособления будет меняться от N_{\max} до N_{\min} . Согласно определению, эта разность предельных расстояний исходной базы и является погрешностью установки. Количественно она равна допуску на размер, связывающий исходную и установочную базы. В некоторых случаях эту погрешность выделяют в отдельную группу и называют **погрешностью базирования**. Очевидно, что эта погрешность будет непосредственно влиять на точность операционного размера A .

Следует обратить внимание на принципиальное отличие погрешности от не сомещения баз (погрешности базирования) от первичных погрешностей установки заготовки в приспособлении в результате влияния других причин. Если в рассмотренных выше случаях изменение положения исходной базы происходило через изменение положения установочной базы и, следовательно, через изменение положения всей заготовки, то при не совмещении исходной и установочной баз $\omega_{y,z,i}$ возникает в результате изменения положения исходной базы относительно установочной при стабильном положении установочной поверхности и всей заготовки.

3.4 Методы определения результирующей операционной погрешности

При выполнении каждой операции механической обработки действует одновременно много причин, нарушающих точность, и, стало быть, одновременно возникает много первичных погрешностей обработки и установки. Полная операционная погрешность ω_{Σ} может быть названа суммарной, результирующей: она является результатом суммирования, наложения отдельных первичных погрешностей обработки и установки.

Знание результирующей погрешности ω необходимо для решения многих задач проектирования технологических процессов механической обработки, проектирования приспособлений и инструментов: при решении задач о выборе операционных допусков на обработку, о соответствии того или иного метода обработки заданной точности. Если суммарная погрешность не превышает допуск,

т. е. если условие $\omega_{\Sigma} < T$ выполняется, то метод обеспечивает обработку деталей без брака; при $\omega_{\Sigma} > T$ возможен брак.

Суммарную погрешность можно определить одним из следующих методов:

- а) расчетно-аналитическим или поэлементным;
- б) опытно - статистическим.

Прежде чем изучать непосредственно каждый из названных методов определения суммарной погрешности, необходимо предварительно рассмотреть два важных вопроса — классификацию производственных факторов по характеру действия их во времени, т. е. по характеру их влияния на величину размера последовательно обрабатываемых заготовок, и основные законы распределения и суммирования погрешностей.

3.4.1 Погрешности систематические постоянные, закономерно изменяющиеся и случайные. Законы распределения погрешностей

Причины, вызывающие погрешности обработки и установки, различаются по характеру действия на протяжении обработки партии заготовок. Одна группа причин за время обработки всех заготовок действует в одном направлении и с постоянной

интенсивностью. В результате их влияния возникают погрешности, постоянные по величине и знаку для всех заготовок одной или нескольких партий. Их принято называть систематическими постоянными погрешностями $\omega_{п.}$ Примером подобных погрешностей могут служить: неперпендикулярность оси отверстия при сверлении к базовой плоскости детали вследствие неперпендикулярности оси шпинделя сверлильного станка к плоскости его стола, погрешность межосевого расстояния отверстий в детали из-за неправильно выполненного расстояния между осями кондукторных втулок. Наиболее же часто встречающейся причиной, обуславливающей появление систематической постоянной погрешности обработки, будет погрешность настройки станка на размер, а так же погрешность мерного инструмента.

Следует особо оговорить, что название «постоянные погрешности» справедливо только применительно к одной или небольшому числу партий заготовок.

Так, упомянутая выше погрешность настройки станка даст $\omega_{п.}$ постоянную (одинаковую) только для тех заготовок, которые будут обработаны при данной настройке.

Другая группа производственных факторов изменяет направление или интенсивность (или то и другое) своего влияния на точность во времени обработки заготовок партии по определенному закону. Погрешности, возникающие в результате действия таких факторов, будут систематическими переменными или закономерно изменяющимися $\omega_{з.н.}$ Закономерно изменяющейся называется погрешность, которая закономерно изменяет свою величину или знак при переходе от одной обрабатываемой заготовки к следующей. Типичным примером может служить погрешность, вызываемая размерным износом инструмента.

Действие причин третьей группы при обработке отдельно взятых заготовок партии заранее не может быть предусмотрено — оно обуславливает появление случайных погрешностей $\omega_{сл.}$ Случайной называется такая погрешность, которая для различных заготовок рассматриваемой партии имеет различные значения, причем ее появление не подчиняется никакой видимой закономерности. Случайные погрешности возникают в результате действия большого количества не связанных между собой факторов.

Наличие случайных $\omega_{сл.}$ и закономерно изменяющихся $\omega_{з.н.}$ погрешностей обуславливает рассеивание размеров или других геометрических параметров. Рассеивание выражается в том, что одноименные размеры заготовок, обработанных при внешне стабильных условиях (на одном станке, при одной настройке, в одном кондукторе и т. д.), различаются между собой.

Закон распределения закономерно изменяющейся погрешности зависит от характера действия причины, обусловившей появление этой погрешности.

Распределение случайных погрешностей характеризуется законом нормального распределения или законом Гаусса. Такому закону будет соответствовать распределение размеров (или погрешностей размеров) партии деталей, изготовленных на настроенном станке при условии хорошей отлаженности и стабильности технологического процесса, когда влияние закономерно изменяющихся факторов отсутствует или проявляется незначительно.

Уравнение кривой нормального распределения

$$y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}, \quad (3.9)$$

где σ — среднее квадратичное отклонение от центра группирования, мера рассеивания; a — центр группирования, математическое ожидание случайной

величины; y — плотность распределения вероятностей. Кривая нормального распределения по (3.9) в начальных координатах приведена на рис.13, а.

Если перенести начало координат на ось кривой, то получим кривую нормального распределения в центрированном виде (рис13, б). Ее уравнение

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (3.10)$$

более удобно для анализа и преобразований. Кривая симметрична относительно оси ординат. Ветви кривой простираются в бесконечность, асимптотически приближаясь к оси x . Кривая нормального распределения имеет 2 точки перегиба: при $x = -\sigma$ и $x = +\sigma$. С увеличением $|x|$, т. е. с увеличением отклонения от среднего значения, плотность вероятности y такого отклонения уменьшается (в уравнении (40) показатель степени имеет знак минус). Наибольшую плотность вероятности имеет отклонение $x=0$

$$y_{\max} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \quad (3.11)$$

Форма кривой нормального распределения определяется одним параметром — значением среднего квадратичного отклонения σ . На рис.14 показаны кривые с различными значениями σ . Сравнение их показывает, что чем σ больше, тем больше поле рассеивания и наоборот. Параметр a — значение координаты центра группирования, определяет положение кривой в направлении оси x . Если, например, для двух случаев получено $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$ и $a_1 < a_2$, то форма кривых для них будет совершенно идентична, но кривые будут расположены на разных расстояниях от начала координат.

Для уяснения следующего весьма важного свойства о площади под кривой нормального распределения рассмотрим предварительно интерпретацию кривой, приведенную на рис.15.

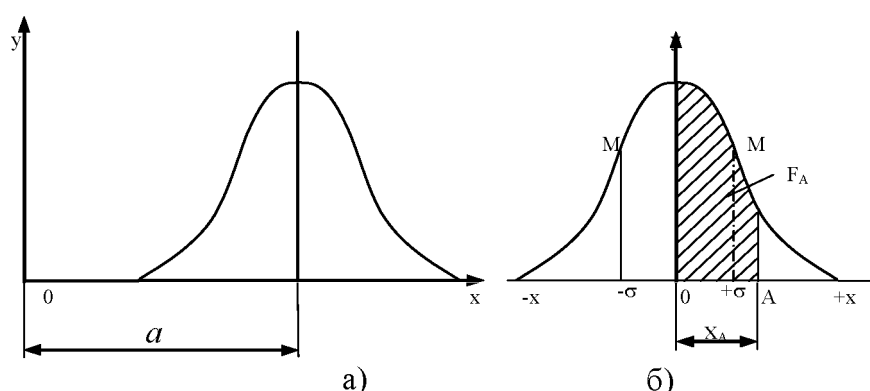


Рис.13 Кривые нормального распределения

Разделим поле рассеивания, на некоторое число интервалов. Тогда ординаты прямоугольников будут соответствовать вероятности, относительной или абсолютной частоте, т. е. числу деталей, имеющих размеры в пределах данного интервала. При принятом масштабе площадь прямоугольника будет соответствовать количеству деталей с размерами заданного интервала, а сумма площадей всех прямоугольников будет соответствовать общему числу деталей, находящихся в поле рассеивания. Если иметь в виду, что теоретическая (плавная) кривая может быть получена из ступенчатой путем увеличения количества интервалов, то станет понятным утверждение о том, что площадь под кривой нормального распределения в каком-либо интервале значений x будет соответствовать проценту (доле, количеству) деталей, имеющих размеры в пределах данного интервала. На рис.13, б такой интервал обозначен X_A . Искомую площадь F_A можно определить по уравнению

$$F_A = \int_0^{x_A} y dx, \text{ но } y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, \text{ тогда}$$

$$F_A = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{x_A} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx. \quad (\text{a})$$

Для возможности табулирования в последнем уравнении заменим параметры с размерностью (σ , x) на безразмерные. Для этого примем $x/\sigma = zx = \sigma z$ и $dx = \sigma dz$. Подставляя эти значения x и dx в уравнение (а), получим после небольших преобразований

$$F_A = \Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz \quad (3.12)$$

По уравнению (3.12) составлены таблицы $\Phi(z)$ для различных значений z . Такие таблицы имеются в учебниках и справочниках по теории вероятностей, технологии машиностроения и др., они используются при исследовании точности, суммировании погрешностей, в теории размерных цепей.

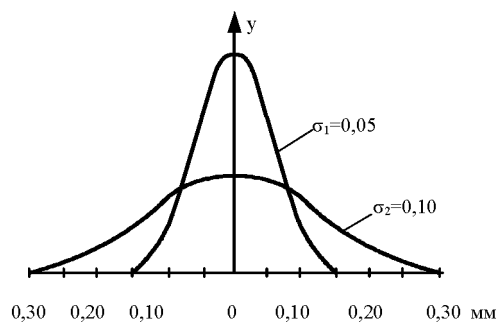


Рис. 14 Влияние величины среднего квадратичного отклонения σ на форму кривой Гаусса

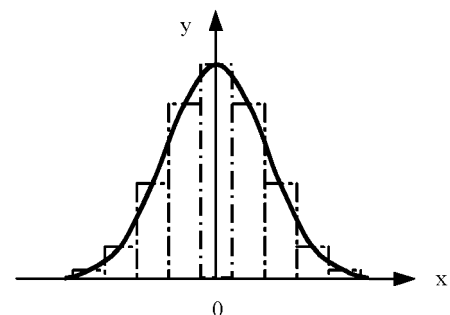


Рис. 15 К вопросу о площади под кривой распределения

Поскольку, как отмечалось выше, ветви кривой нормального распределения простираются в бесконечность, то вся площадь под кривой (100% площади или $F_A=1,0$) будет в интервале от $-\infty$ до $+\infty$.

$$F = 2\Phi(z = \infty) = \frac{2 \cdot 1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} e^{-\frac{z^2}{2}} dz = 1,0 \quad (3.13)$$

Однако для практических целей нет необходимости брать бесконечные пределы. Подсчеты по уравнению (3.12) показывают, что уже в интервале $x = \pm 0,7\sigma$ ($z = \pm 0,7$) находится 50% всей площади, а в интервале $x = \pm 3\sigma$ - 99,73%, т. е. практически вся площадь. В связи с этим считают, что практически все поле рассеивания находится в интервале $\pm 3\sigma$ (ошибка составляет 0,27%). Во всех случаях, когда это не оговорено особо, поле рассеивания случайных погрешностей принимают равным

$$\omega_p = 6\sigma \quad (3.14)$$

3.4.2 Расчетно-аналитический метод определения суммарной погрешности

Определение суммарной операционной погрешности по этому методу выполняется в следующей последовательности:

- а) Изучение условий выполнения операций (способа обработки, способа выполнения размера, характеристик станка, режущего и мерительного инструментов, режимов резания и т. д.);
- б) Выявление и составление перечня факторов, обуславливающих появление первичных (элементарных) погрешностей обработки и установки;
- в) Определение значений первичных (элементарных) погрешностей, вызываемых действием каждого из факторов, внесенных в перечень. В большинстве случаев задача будет заключаться в определении **поля погрешности**. При решении этой задачи можно применить аналитический (расчетный) метод, используя приведенные в разд. 3.1-3.3 формулы и зависимости и аналогичные им. В тех случаях, когда для определения какой либо первичной погрешности аналитические зависимости еще не установлены, величину такой погрешности принимают по нормативным или справочным данным (например, погрешность установки деталей в патроне, в тисках и т. п.);
- г) Установление законов распределения для каждой из первичных погрешностей обработки и установки. Найденные (вычисленные, принятые по справочным и нормативным источникам) первичные погрешности нельзя просто сложить арифметически, полученная при таком суммировании величина операционной погрешности будет значительно больше действительной. Это можно объяснить тем, что каждая из первичных погрешностей определялась для экстремальных (худших) условий и является предельной максимально возможной. Но сочетание худших условий по всем погрешностям при обработке каждой детали мало вероятно.

Достоверное значение суммарной погрешности можно получить, если суммирование первичных погрешностей выполнять по правилам теории вероятностей и математической статистики. Эти правила заключаются в следующем:

1. Случайные погрешности, подчиняющиеся закону нормального распределения, складываются по правилу квадратичного корня.

2. Случайные погрешности, не подчиняющиеся закону нормального распределения, и закономерно изменяющиеся погрешности суммируются с учетом закона их распределения.

3. Систематические постоянные погрешности между собой складываются алгебраически с учетом их знака. При определении суммарной погрешности для генеральной совокупности постоянные систематические погрешности со случайными и закономерно изменяющимися суммируются арифметически.

При этом суммарная погрешность может быть определена по формуле

$$\omega_{\Sigma} = \sum \omega_{i\Pi} + \frac{1}{k_{\Sigma}} \sqrt{\sum k_i^2 \omega_{icc}^2 + \sum k_i^2 \omega_{i3.\Pi}^2} . \quad (3.15)$$

Где k_1 и k_{Σ} коэффициенты относительного рассеивания первичных погрешностей и их сумм.

Статистический метод определения суммарной погрешности

Содержанием статистического метода является измерение размера (или другого параметра) деталей анализируемой совокупности, вычисление характеристик распределения, построение практической кривой распределения, анализ кривой и характеристик распределения и выбор на этой основе теоретического закона распределения анализируемой совокупности. Все эти данные позволяют вычислить составляющие суммарной погрешности и всю погрешность.

При статистическом анализе точности необходимо соблюдение следующих требований:

а) для анализа брать детали, изготовленные при стабильных условиях, т. е. одним размерным инструментом до его переточки или при одной наладке станка (между двумя подналадками);

б) число деталей в совокупности должно быть значительным. Чем больше взято деталей для анализа, тем с большей достоверностью будут определены характеристики распределения;

в) измерение деталей должно выполняться инструментом, цена деления которого

должна быть $\left(\frac{1}{6} \div \frac{1}{10}\right) \delta$, где δ - допуск на измеряемый размер.

Содержание всех этапов статистического метода определения операционной погрешности рассмотрим на примере. На автомате с выдерживанием размеров по настройке была изготовлена партия роликов $D = 20_{-0,2}$ в количестве $N=100$ штук. Размеры деталей занесены в таблицу измерений (табл.2). Пользуясь данными таблицы, вычисляем практическое поле рассеивания (размах варьирования, широту распределения):

$$R = x_{\max} - x_{\min} = x_{97} - x_{14} = 19,99 - 19,86 = 0,13 \text{ мм}$$

Таблица 2- Таблица размеров деталей, мм [7]

19,93	19,97	19,96	19,92	19,97	19,92	19,91	19,90	19,90	19,90
19,87	19,92	19,94	19,96	19,96	19,97	19,96	19,93	19,89	19,88
19,97	19,93	19,92	19,89	19,95	19,95	19,93	19,97	19,91	19,90
19,89	19,86	19,87	19,92	19,88	19,93	19,91	19,90	19,89	19,92
19,95	19,88	19,93	19,94	19,92	19,89	19,90	19,88	19,97	19,90
19,92	19,95	19,89	19,93	19,95	19,92	19,91	19,91	19,91	19,98
19,94	19,88	19,95	19,93	19,89	19,95	19,92	19,97	19,89	19,91
19,89	19,94	19,93	19,94	19,94	19,88	19,90	19,92	19,91	19,99
19,95	19,93	19,94	19,95	19,92	19,91	19,96	19,91	19,92	19,91
19,93	19,94	19,94	19,88	19,95	19,97	19,90	19,91	19,91	19,92

Для удобства обработки статистических данных и построения кривой распределения величину размаха разделяют на разряды (интервалы). Число разрядов k должно быть увязано с количеством деталей в совокупности: при $N=50—100$ шт. $k=5—7$, при $N>100$ $k=7—11$. Кроме того, число разрядов должно быть таким, чтобы цена разряда $c=R/k$ была больше цены деления мерительного инструмента. Выполнение этого требования необходимо для того, чтобы уменьшить влияние погрешностей измерений. Примем для нашего примера $k=7$. Тогда расчетная цена разряда будет $c = \frac{0,13}{7} = 0,0185 \text{ мм}$. Примем $c=0,02 \text{ мм}$. Заметим, что округление цены разряда

должно быть минимальным и допустимо в большую сторону.

Для решения поставленной задачи необходимо вычислить главные характеристики распределения: статистический центр группирования или среднее арифметическое значение размера для совокупности x_{cp} и среднее квадратичное отклонение σ по уравнениям:

$$x_{cp} = \frac{x_1 n_1 + x_2 n_2 + \dots + x_k n_k}{N} = \frac{\sum x_i n_i}{N} \quad (3.16)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_1 - x_{cp})^2 n_1 + (x_2 - x_{cp})^2 n_2 + \dots + (x_k - x_{cp})^2 n_k}{N}} = \sqrt{\frac{(x_i - x_{cp})^2 n_i}{N}} \quad (3.17)$$

В этих уравнениях x_1, x_2, \dots, x_k — значения представителей разрядов; n_1, n_2, \dots, n_k — количество деталей (частота) в разряде. Важным является выбор границ между разрядами: они должны проходить не по измеренным значениям размеров, а между ними. Примем граничными значения $x_1, 19,855, 19,875$ и т. д.

Результаты расчетов $x_{cp} \approx 19,93 \text{ мм}$, $\sigma = 0,028 \text{ мм}$.

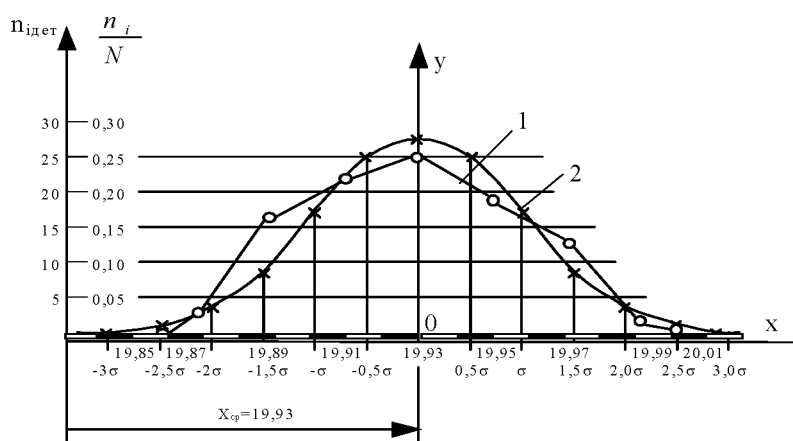


Рис.16 Практическая 1 и теоретическая 2 кривые распределения

Следующим этапом является построение практической кривой распределения. Она строится в координатах x_i, n_i . Масштабы по осям выбираются произвольные, удобные для построения. Практическая кривая для нашего примера приведена на рис.16 (ломаная линия). При ее построении приняты масштабы: по оси x_i 0,01 мм соответствует 10 мм; по оси n_i 1 деталь — 2 мм. Построение кривой выполняется обычным путем: для всех значений x_i (19,87, 19,89 и т. д.) откладываются по вертикали в масштабе соответствующие им значения n_i . Полученные точки соединяются отрезками прямой.

Практическая кривая служит для первой приближенной оценки точности процесса, оценки «чистоты» эксперимента и правильности обработки результатов измерений и решения вопроса о выборе теоретического закона для характеристики данного распределения. Приближенной же потому, что форма практической кривой распределения зависит не только от объективных причин — характера распределения размеров, но и от случайных — числа интервалов или разрядов k , количества принятых для анализа деталей N . В связи с этим, для объективной оценки точности обработки практические кривые необходимо заменить теоретическими кривыми, изображающими вполне определенные законы распределения, задаваемые математическими уравнениями.

В разд. 3.4.1 был сделан краткий обзор теоретических законов распределения. Возникает вопрос — какой из них следует использовать для характеристики распределения размеров обследованной партии деталей. Правильно будет при решении этого вопроса исходить из анализа условий обработки партии деталей и характера действия причин, обусловивших распределение погрешностей. Многочисленные исследования показали, что при механической обработке деталей на металлорежущих станках по способу автоматического достижения заданных размеров (по настройке, с использованием мерного режущего инструмента) распределение размеров подчиняется (в достаточной мере соответствует) закону нормального распределения. На этом основании примем этот закон для характеристики рассматриваемого в примере распределения размеров роликов $D=20_{-0,2}$.

Для распределения по этому закону, как отмечалось выше, принимают шестисигмовое поле рассеивания, т. е. принимают $\omega_p = 6\sigma$. Для нашего примера: $\omega_p = 6\sigma = 6 \cdot 0,028 = 0,168$ мм. Следует обратить внимание на то, что теоретическая величина поля рассеивания оказалась значительно больше практического поля (размаха варьирования): $0,168 > 0,13$ мм. Объясняется это тем, что размах варьирования $R = 0,13$ мм характеризует точность конкретной партии с количеством $N=100$ штук деталей. Теоретическое же поле рассеивания позволяет дать оценку метода обработки, прогнозировать точность обработки сколько угодно большого числа деталей. Можно с большой достоверностью утверждать, что если по данному методу на данном станке, при поддержании на принятом уровне всех остальных условий, обрабатывать детали в неограниченном количестве и неограниченное время, то поле рассеивания будет составлять

$$\omega_p = 0,168 \text{ мм.}$$

Теперь построим кривую нормального распределения, причем для возможности сопоставления и анализа будем строить ее совмещенной с эмпирической кривой и согласуем их масштабы. По оси x для эмпирической кривой было принято $0,01 \rightarrow 10$ мм. Тогда для теоретической кривой $\sigma = 0,028 \rightarrow 28$ мм. Для увязки масштабов по оси ординат из условия равенства площадей под кривыми используем уравнение

$$M_n = M_o \frac{cN}{\sigma}, \quad (3.18)$$

где M_n и M_o — масштабы соответственно для кривой нормального распределения и эмпирической кривой; c — цена разряда (ранее было принято $c = 0,02$ мм); N — число деталей в совокупности ($N = 100$). Для нашего примера

$$M_n = 2 \frac{0,02 \cdot 100}{0,028} = 143. \quad (3.19)$$

При построении кривой нормального распределения сначала откладывается ее ось, соответствующая $x_{cp} = 19,93$ мм. Это значение x принимается за начало отсчета точек на оси x в долях σ . По оси y откладываются ординаты кривой нормального распределения. Для их определения нет необходимости производить каждый раз

вычисления по уравнению кривой $y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$, можно воспользоваться табличными

значениями этой функции.

Сравнение эмпирической и нормальной кривых по степени совпадения их формы, площадей и положения, позволяет судить о характере влияния факторов процесса на погрешность изготовления детали.

Выше была определена одна составляющая суммарной погрешности — $\omega_p = 6\sigma$. Перейдем теперь к определению другой составляющей — ω_n , учитывающей влияние постоянных систематических погрешностей. На рис.17 изображено поле допуска на размер обрабатываемых в примере деталей $\delta = 0,2$ мм с координатой его середины $x_{\delta cp} = 19,90$ мм. В этом поле расположена в масштабе кривая нормального распределения для нашего эксперимента с координатой середины поля рассеивания $x_{cp} = 19,93$. Из схемы и сопоставления $x_{\delta cp}$ и x_{cp} следует, что ось кривой распределения смещена с середины поля допуска за счет влияния постоянных систематических погрешностей на величину:

$$\omega_n' = |x_{cp} - x_{\delta cp}| \quad (3.20)$$

Для нашего примера $\omega_n' = 19,93 - 19,90 = 0,03$ мм. Величина ω_n' характеризует направление и степень влияния постоянных систематических факторов, действовавших (имевших

место) при обработке анализируемой партии деталей. Обычно для производственных и научных целей основным является определение точностных характеристик не отдельной партии деталей, а **метода обработки**, т.е. генеральной совокупности деталей. Генеральная совокупность (склад) включает детали многих партий, изготавливаемых в разное время, на разных станках и при разных наладках (или разными мерными инструментами). Если для каждой партии вычислить характеристики распределения и для всех партий построить кривые распределения — получилась бы не одна, а семейство кривых, расположенных как показано на рис. 18. По этой схеме становится очевидной структура уравнения (3.15): $\omega = \omega_n + \omega_p = \omega_n + 6\sigma$.

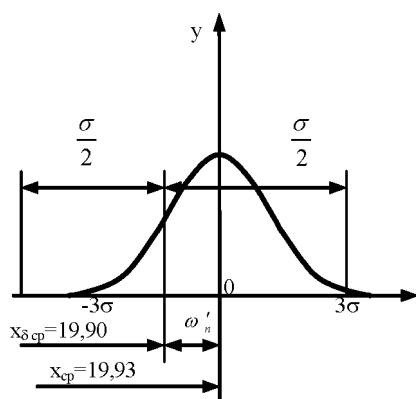


Рис. 17 Влияние постоянной погрешности на положение кривой распределения в поле

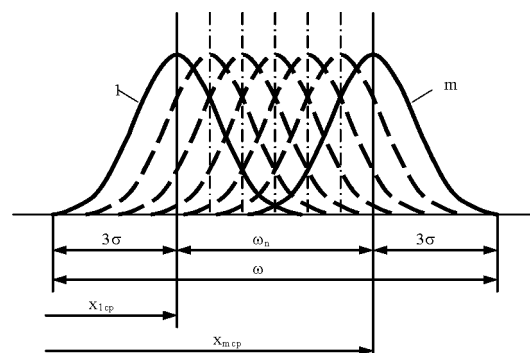


Рис. 18 Схема к определению ω_n

При этом величина постоянной составляющей может быть, определена по формуле:

$$\omega_n = 2|x_{cp} - x_{\delta cp}| \quad (3.21)$$

Используем это уравнение для оценки влияния постоянных систематических факторов по данным нашего примера: $\omega_n = 2|x_{cp} - x_{\delta cp}| = 2(19,93 - 19,90) = 0,06$ мм. Тогда, в соответствии с уравнением (3.15) суммарная погрешность использованного в примере метода обработки будет $\omega = \omega_n + \omega_p = 0,06 + 0,168 = 0,228$ мм. Вычисленная величина ω превышает допуск на выполняемый размер: $0,228 > 0,20$ мм. Следовательно, хотя в экспериментальной партии все $N=100$ штук деталей имели размеры в пределах допуска (см. табл.2), при использовании этого метода в последующем, при обработке неограниченно большого количества деталей, возможен выход размеров части деталей за пределы поля допуска.

Рассмотрим теперь использование результатов статистического анализа и метода кривых распределения.

По форме эмпирической кривой распределения можно судить о доминирующем закономерно изменяющемся факторе. Например, кривая со скругленной, плоской вершиной будет свидетельствовать о большом влиянии размерного износа инструмента. Получение двухвершинной кривой для деталей, обработанных при

одной настройке (одним мерным инструментом) указывает на то, что в какой то момент обработки в действие включился непредвиденный постоянный фактор — сбились положение инструмента и т. п. По положению центра группирования в поле допуска, т. е. по величине ω'_n можно судить о качестве настройки станка или о соответствии размера мерного инструмента заданному значению.

По соотношению поля рассеивания $\omega_p = 6\sigma$ и поля допуска σ можно судить, о возможности обработки деталей по настройке и о допуске на настройку.

В тех случаях, когда суммарная погрешность оказывается больше допуска на выполняемый размер, т. е. при $\omega = \omega_n + \omega_p > \delta$, метод кривых распределения позволяет определить вероятный процент годных деталей или вероятный процент брака.

4. Поверхностный слой деталей

4.1 Шероховатость поверхности

В процессе изготовления и эксплуатации детали на её поверхности возникают неровности, в слое металла, прилегающем к ней, изменяются структура, фазовый и химический состав. В детали возникают остаточные напряжения.

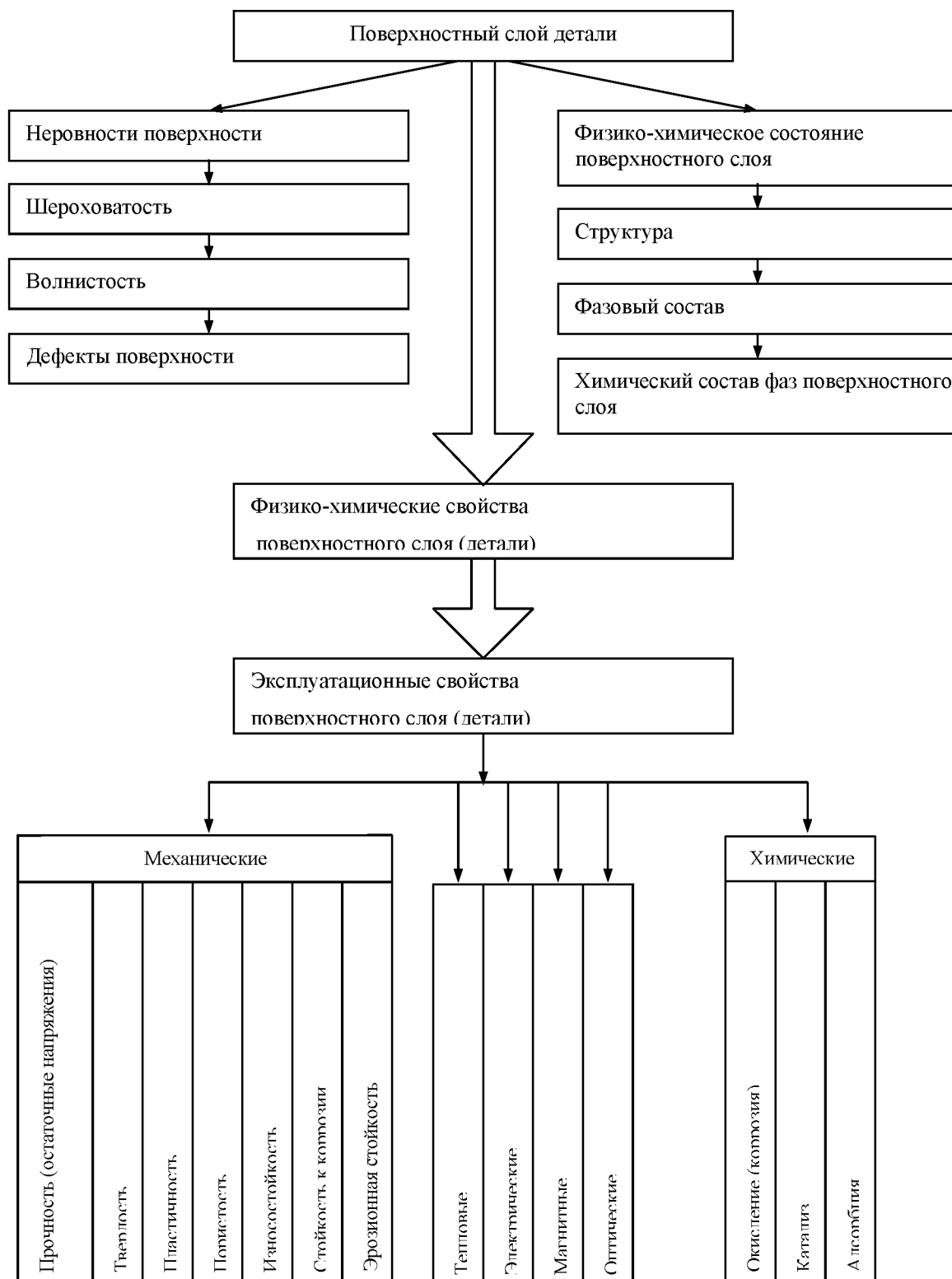


Рис.19 Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей

Слой металла с измененными структурой, фазовым и химическим составом по сравнению с основным металлом, из которого изготовлена деталь, называется **поверхностным слоем**.

Внешняя поверхность слоя граничит с окружающей средой или с сопрягаемой деталью.

Неровности на поверхности детали, структура, фазовый и химический состав поверхностного слоя изменяют ее физико-химические и эксплуатационные свойства.

При эксплуатации поверхностный слой детали подвергается наиболее сильному физико-химическому воздействию: механическому, тепловому, магнитоэлектрическому, световому, химическому и др. Потеря детали своего служебного назначения и ее разрушение в большинстве случаев происходит с поверхности, например, усталостная трещина, износ, эрозия, коррозия развиваются с поверхности детали.

Поверхностный слой оказывает существенное влияние на надежность и долговечность работы детали, узла и машины в целом.

Взаимосвязь поверхностного слоя с физико-механическими и эксплуатационными свойствами детали показана на рис. 19

Рассмотрим подробно один из параметров – шероховатость поверхности.

Идеально правильную поверхность нельзя получить в результате какого – либо метода обработки.

Реальная поверхность физического тела несовершенна: суждение о степени несовершенства зависит от масштаба рассмотрения. Шероховатость поверхности после механической обработки – это геометрический след режущего инструмента (металлического или абразивного), искаженный в результате пластической и упругой деформации и сопутствующей процессу резания вибрацией технологической системы.

Причинами, обуславливающими видоизменение и искажение основного геометрического профиля, являются также копирование микронеровностей рабочих кромок резца и абразивных зерен и образование зубцов нароста, приставших к поверхности детали, упругое поднятие материала детали после прохода режущего инструмента и другие технологические факторы, определяющие условия механической обработки (зазоры во вращающихся деталях станка, несбалансированность их и др.).

Режущий инструмент разрушает на своем пути разнообразно расположенные зерна металла; некоторые из них, имеющие соответствующую ориентацию, срезаются, другие разрушаются отрывом с образованием мельчайших трещин в поверхностном слое детали.

Геометрические характеристики неровностей тесно связаны с физико-химическими и процессами разрушения металла при обработке резанием. Так, шероховатость поверхности при обработке хрупких металлов представляется в виде треугольных углублений, отвечающих форме вырванных зерен; в вязких металлах при больших скоростях резания, сильно деформированные неровности имеют форму чешуек.

Шероховатость поверхности принято определять по ее профилю, который представляет собой линию пересечения поверхности плоскостью, перпендикулярной направлению неровностей. При этом профиль рассматривается на длине базовой линии, относительно которой определяются и оцениваются параметры шероховатости поверхности.

При определении параметров профиля отсчет высот неровностей производится от средней линии профиля. **Средняя линия профиля** - это базовая линия, имеющая форму номинального профиля и делящая реальный профиль так, что в пределах базовой длины сумма квадратов отклонений профиля от этой линии минимальна.

Линия, эквидистантная средней линии и проходящая через высшую точку профиля в пределах базовой длины, называется **линией выступов профиля**. Линию, эквидистантную средней линии профиля и проходящую через низшую точку профиля в пределах базовой длины, принято называть **линией впадин профиля**.

Для нормирования и оценки шероховатости поверхности известно около 30 параметров. Основные из них, принятые в большинстве национальных стандартов на шероховатость поверхности промышленно развитых стран, приведены на рис.20.

Расстояние между линией выступов и линией впадин профиля в пределах базовой длины представляет собой **наибольшую высоту неровностей профиля R_{\max}** .

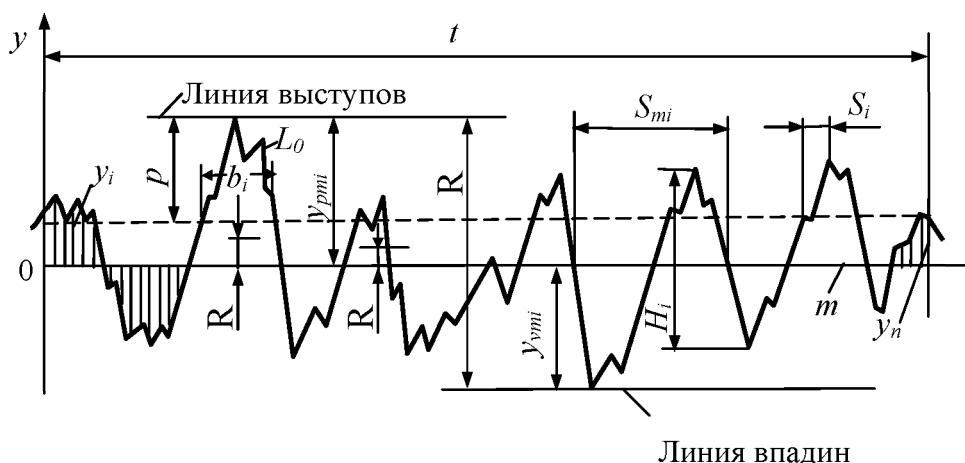


Рис. 20 Профиль шероховатости и его параметров

Расстояние от средней линии профиля до высшей точки выступа называется **высотой выступа профиля U_p** , а расстояние от средней линии профиля до низшей точки впадины - **глубиной впадины профиля U_v** .

Значительное распространение для оценки шероховатости в машиностроении получили такие параметры как высота неровностей профиля по десяти точкам R_z , среднее арифметическое R_a и среднеквадратичное R_q отклонение профиля.

Высота неровностей профиля по десяти точкам R_z определяется как среднее расстояние между находящимися в пределах базовой длины высот пяти наибольших выступов y_{pm} и глубин пяти наибольших впадин профиля y_{vm} :

$$R_z = \frac{1}{5} \left[\sum_1^5 |y_{pm_i}| + \sum_1^5 |y_{vm_i}| \right] \quad (4.1)$$

где y_{pm_i} - высота i -го наибольшего выступа профиля; y_{vm_i} - глубина i -й наибольшей впадины профиля.

Среднее арифметическое отклонение профиля R_a - среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины l :

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \quad (4.2)$$

или приближенно

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (4.3)$$

где y - отклонение профиля, определяющее расстояние между точкой реального профиля и базовой линией (средней линией профиля);

n - число выбранных точек на базовой длине.

Среднеквадратичное отклонение профиля R_q есть среднеквадратичное значение отклонений профиля в пределах базовой длины

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l y^2(x) dx} \quad (4.4)$$

или приближенно

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2(x_i)} \quad (4.5)$$

Длина отрезка средней линии, пересекающего профиль в трех соседних точках и ограниченного двумя крайними точками, называется **шагом неровностей профиля**. **Средний шаг неровностей профиля S_m** - это среднее арифметическое значение шага неровностей профиля в пределах базовой длины:

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{m_i} \quad (4.6)$$

где n - число шагов в пределах базовой длины.

Средний шаг неровностей профиля по вершинам S - это среднее арифметическое шага неровностей профиля по вершинам в пределах базовой длины:

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i \quad (4.7)$$

где n - число шагов неровностей профиля по вершинам в пределах базовой длины.

Длина профиля L_o - это длина, получающаяся, если все выступы и впадины профиля, находящиеся в пределах базовой длины, вытянуть в прямую линию.

Относительная длина профиля l_o - это отношение длины профиля L_o к базовой длине l :

$$l_o = \frac{L_o}{l} \quad (4.8)$$

Опорная длина профиля l_p - определяется суммой длин отрезков, отсекаемых на заданном уровне p выступов профиля линией, эквидистантой средней линии в пределах базовой длины:

$$l_p = \sum_{i=1}^n b_i \quad (4.9)$$

где b_i - длина отрезка, отсекаемого на выступе профиля.

Для сопоставления размеров опорных поверхностей, обработанных различными методами, удобно пользоваться понятием **относительной опорной длины профиля t_p** , определяемой отношением опорной длины профиля к базовой длине:

$$t_p = \frac{l_p}{l} \cdot 100\% = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n b_i \cdot 100\% \quad (4.10)$$

Обозначение шероховатости поверхности двумя и более параметрами производится сверху вниз в следующем порядке: высота неровностей, шаг неровностей, относительная опорная длина профиля, например:

$$\sqrt{\begin{array}{l} \text{ПОЛИРОВАТЬ} \\ =0,8/R_a 0,1 \\ S_m 0,063...0,040 \\ t_{50} 80\pm 10 \end{array}}$$

Здесь шероховатость поверхности задана следующими параметрами: $R_a=0,1$ мкм; $S_m=0,063... 0,040$ мм; $t_{50}=80\pm 10\%$; $l=0,8$ мм; направление рисок - параллельное, полировать (ГОСТ 2. 309-73, изменение №3 2003 год).

При назначении параметров шероховатости поверхностей рекомендуется их величину согласовывать с допусками размеров T_p , формы T_ϕ и расположения поверхностей T_n . В этом случае значение высоты неровностей R_z можно определять следующим соотношением:

$$R_z \leq K_p T_p \quad (4.11)$$

где K_p - коэффициент, зависящий от качества, вида погрешностей (формы или расположения) и отношения $T_\phi(T_n)/T_p$ (табл.3)

Таблица 3- Значения коэффициента K_p

Квалитеты	K_p при $T_\phi(T_n)/T_p$			
	1	$\geq 0,63$	$\geq 0,40$	$\geq 0,25$
3...5	0.5	0.35	0.2	
6...8	0.4			
9;10		0.3		
11...17	0.3			0.15

При отношении $T_\phi(T_n)/T_p < 0,4$ для квалитетов от 3 до 8 и при отношении $T_\phi(T_n)/T_p < 0,25$ для всех квалитетов параметр R_z определяют по формулам:

$$R_z \leq K_\phi T_\phi; R_z \leq K_n T_n. \quad (4.12)$$

Числовые значения коэффициентов формы K_ϕ и расположения поверхностей K_n принимают: для погрешностей формы (неплоскостность, нецилиндричность и др.) $K_\phi=0.7$; для погрешностей расположения поверхностей (непараллельность, несоосность) $K_n=0.5$. Переход от параметра R_z к параметру R_a производят по соотношениям:

$$R_a \cong 0,25R_z \text{ при } R_z \geq 8 \text{ мкм}; \quad R_a \cong 0,20R_z \text{ при } R_z < 8 \text{ мкм}.$$

После вычисления параметр R_a округляют до ближайшего значения из ряда стандартных чисел.

4.2 Влияние методов и режимов обработки на шероховатость поверхности

На величину, форму профиля и направление неровностей оказывает влияние множество факторов: метод обработки, геометрия инструмента и степень его притупления, режимы резания, охлаждение, вибрации, механические свойства обрабатываемого материала.

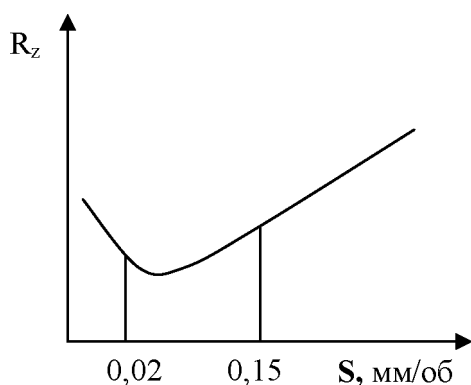
При точении, растачивании, строгании, торцевом фрезеровании большую роль играют геометрические факторы: увеличение радиуса при вершине резца, уменьшение главного и вспомогательного углов в плане дает уменьшение высоты неровностей. За счет износа или некачественной заточки инструмента шероховатость при точении может увеличиться на 50-60%.

Влияние **скорости резания** проявляется через изменение температуры в зоне обработки. Температура определяет наростообразование при резании. На рисунке 21 кривая 2 зависимости высоты неровностей R_z от скорости резания повторяет кривую 1 зависимости для нароста. При скоростях малых и больших, когда нарост отсутствует, R_z будет минимальной.



Рис.21 Зависимости величин R_z (кривая 2) и нароста обрабатываемого материала (кривая 1) от скорости резания

Влияние подачи на высоту и форму неровностей обусловлено геометрическими соотношениями копирования профиля резца. Оно проявляется так же в связи с пластическими и упругими деформациями в зоне резания. Особенно заметно влияние подачи через пластические деформации в зоне малых (менее 0,02 мм/об) и больших подач (рис.22).



Глубина резания оказывает слабое влияние на шероховатость.

Механические свойства обрабатываемого материала влияют на шероховатость через пластическую деформацию в зоне резания.

Рис. 22 Зависимость величины R_z от подачи

Вязкие и пластичные материалы дают при обработке их резанием грубые и шероховатые поверхности.

Нормализация заготовок из углеродистой стали способствует получению однородной, мелкозернистой структуры, при этом шероховатость резко уменьшается. В целом с повышением твердости материала, R_z уменьшается.

С применением СОЖ, трение уменьшается, температура понижается, а, следовательно, улучшается стружкообразование. Высота микронеровностей уменьшается.

Влияние жесткости обрабатываемой детали и всей технологической системы показано на рис.23

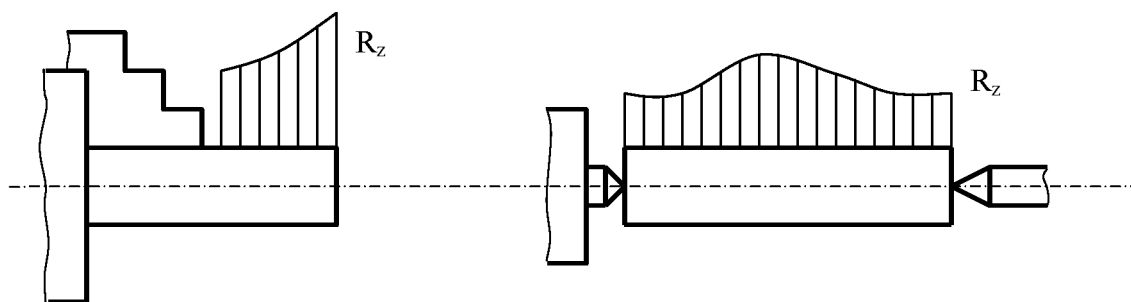


Рис. 23 Эпюры величины R_z : а - закрепление в патроне; б - закрепление в центрах

При шлифовании образование шероховатости связано с особенностями процесса, когда развиваются очень большие удельные давления резания и высокий разогрев металла в тонком поверхностном слое. По этому преобладающее значение здесь играют не геометрические, а физические факторы. Установлено, что шероховатость уменьшается, если увеличивать окружную скорость вращения заготовки уменьшить продольную и поперечную подачи, применять высаживание (шлифование без поперечной подачи). Большую роль играет шлифовальный круг – зернистость материала, его твердость, структура связки, режим правки инструмента и его частота.

4.3 Влияние поверхностного слоя деталей на их эксплуатационные свойства

Поверхностный слой деталей оказывает влияние на следующие эксплуатационные свойства: прочность (статическую, циклическую, ударную), износостойкость, сопротивление коррозии, эрозии, кавитации, точность и надежность неподвижных посадок. Шероховатость и волнистость поверхности, структура, фазовый и химический состав поверхностного слоя по-разному влияют на эксплуатационные свойства деталей. Знание закономерностей комплексного и раздельного влияния параметров поверхностного слоя деталей на их эксплуатационные свойства позволит оптимизировать технологические процессы изготовления деталей с учетом заданных условий их эксплуатации. Например, при прессовой сборке соединений с натягом увеличение шероховатости приводит к резкому снижению прочности соединения.

Коррозионная стойкость трущихся поверхностей также резко снижается, так как по микронеровностям коррозия интенсивно распространяется вглубь металла. Существенно снижаются возможности измерения погрешностей размеров, формы и расположения поверхностей, имеющих повышенную шероховатость.

Для трущихся поверхностей важнейшей эксплуатационной характеристикой является интенсивность их износа. Рассмотрим закономерности этого процесса. На рисунке представлены зависимости интенсивности износа ($K_{\text{изн}}$) от времени (t).

Для поверхностей с меньшей шероховатостью время приработки поверхностей снижается и рабочий зазор уменьшается. Если износ по величине допустимого износа ограничен значением «А», то

$T_2 > T_1$,

т.е. время эксплуатации поверхности, имеющей низкую шероховатость возрастает. На рисунке приведена зависимость износа от величины шероховатости поверхностей.

Должна быть обеспечена шероховатость, соответствующая минимальному износу ($R_{a \text{ опт}}$) уменьшение шероховатости приводит к тому, что затрудняется смазка поверхностей, а при большей высоте микронеровностей снижается площадь фактического контакта поверхностей, и возрастают удельные нагрузки.

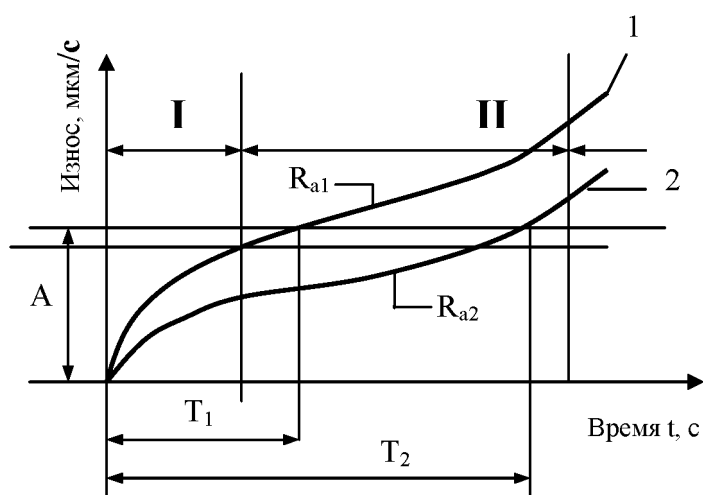


Рис.24 Зависимость интенсивности износа от времени работы. $R_{a1} > R_{a2}$

I – участок приработки;

II – участок равномерного износа;

III – участок интенсивного износа.

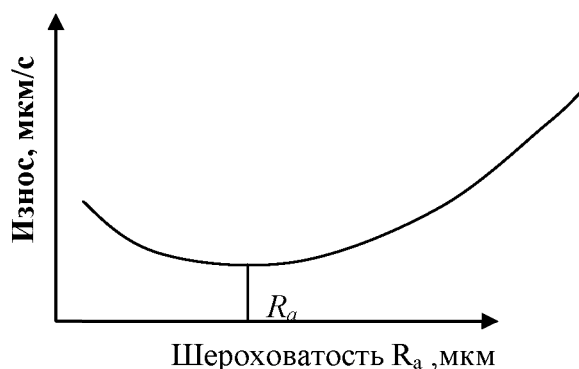


Рис.25 Влияние шероховатости поверхности на износ

Влияние шероховатости поверхности на усталость металла более изучено, чем для других характеристик поверхностного слоя.

Шероховатость поверхности - это технологический концентратор напряжений, снижает прочностные характеристики металла независимо от вида напряженного состояния и температуры нагрева. Влияние шероховатости поверхности на сопротивление усталости обычно оценивается различными коэффициентами напряжений, связанными с геометрическими параметрами микронеровностей поверхности.

Теоретическая зависимость между коэффициентом концентрации напряжений α , и геометрическими параметрами мелких выточек (рисок), многократно

повторяющихся на поверхности детали, была установлена Г. Нейбером. В этом случае теоретический коэффициент концентрации напряжений можно определить по формулам:

при кручении и сдвиге

$$\alpha_{\sigma} = 1 + \sqrt{\gamma \frac{R_z}{r}} \quad (4.13)$$

при растяжении и изгибе

$$\alpha_{\sigma} = 1 + 2\sqrt{\gamma \frac{R_z}{r}} \quad (4.14)$$

где γ -коэффициент разгрузки, зависящий от отношения шага неровностей к их высоте (рис. 26);

R_z - высота микронеровностей;

r - радиус кривизны на дне впадины.

Соотношения можно использовать и для определения коэффициентов концентрации напряжений, обусловленных микронеровностями на поверхности деталей после механической обработки.

Для микрорельефа поверхности после механической обработки обычно $\gamma=1$, $R_z/r=0,3$

... 0,5, что дает значение теоретического коэффициента концентрации $U_0=1,5$... 2,5.

Коэффициент концентрации напряжений шлифованной поверхности с шероховатостью $R_a=0,32$; 0,63;

1,25 мкм (9, 8, 7-й классы шероховатости поверхности ГОСТ 2789—73) равен соответственно 1,2; 1,24 и 1,48.

Используя коэффициент чувствительности металла к концентрации напряжений q_{σ} , можно приближенно оценить эффективные коэффициенты концентрации напряжений, обусловленные микронеровностями на поверхности детали.

Для углеродистых сталей с малыми радиусами закруглений по дну микронеровностей можно принять $q_{\sigma} = 0,1$... 0,2. Для легированных сталей их значения будут больше.

Эффективные коэффициенты концентрации для легированных сталей, вычисленные по формуле

$$K_{\sigma} = 1 + q_{\sigma}(\alpha_{\sigma} - 1) \quad (4.15)$$

равны 1,05... 1,3.

Значения K_{σ} для легированных сталей будут более высокими по сравнению с углеродистыми сталями из-за их большей чувствительности к концентрации напряжений.

Эксплуатационные свойства деталей зависят не только от высоты микронеровностей, но и от радиусов закругления впадин и выступов, угла наклона профиля и шага неровностей.

Для конструктора и технолога важно знать, как влияет шероховатость поверхности на прочностные характеристики металла в исходном состоянии (т. е. без учета физико-химических изменений в металле поверхностного слоя).

При изменении параметра шероховатости поверхности R_a 5,0;

1,2; 0,3 и 0,15 мкм (5, 7, 9, 10-й классы шероховатости поверхности, направление неровностей - перпендикулярное) сопротивление усталости теплостойких сталей, титановых и жаропрочных сплавов (температура нагрева, рабочая частота нагружения 1-5 кГц, число испытаний 100 млн. циклов) снижается соответственно на 22,0; 16,5; 12,5 и 10,5%

По сравнению с усталостной прочностью этих материалов при практически полном отсутствие неровностей на поверхности (14-й класс шероховатости поверхности) и физико-химических изменений в металле поверхностного слоя.

Сопротивление усталости конструкционных материалов с перпендикулярным направлением микронеровностей снижается примерно в 1,5 раза больше, чем материалов

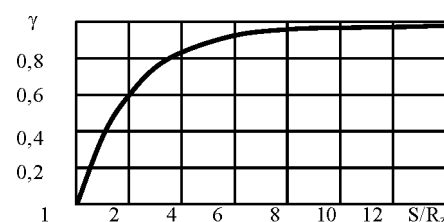


Рис. 26 Зависимость коэффициента разгрузки γ - от отношения шага S к высоте R_z многократно повторяющихся неровностей поверхности

с параллельным направлением микронеровностей при одинаковых значениях параметров (классов) шероховатости поверхности. С улучшением чистоты обработки поверхности направления микронеровностей меньше влияет на усталостную прочность.

5. Последовательность разработки единичных технологических процессов

Всю работу по проектированию единичных технологических процессов можно условно разделить на ряд последовательно решаемых задач.

1. Изучение и анализ рабочего чертежа детали;
2. Выбор вида, способа получения и формы заготовки;
3. Выбор числа ступеней обработки основных поверхностей детали;
4. Установление последовательности обработки основных поверхностей детали;
5. Разделение технологического процесса на этапы. Формирование плана операций (маршрутной технологии);
6. Выбор оборудования;
7. Выбор исходных, установочных и измерительных баз;
8. Выбор универсальной и нормализованной оснастки и разработка заказа на проектирование специальной оснастки;
9. Выбор средств механизации и автоматизации технологического процесса;
10. Разработка технических требований на операции;
11. Расчет припусков, операционных размеров и выбор операционных допусков;
12. Расчет режимов резания, нормирование операций;
13. Экономический анализ вариантов операций;
14. Составление планировок производственных участков и разработка операций перемещения изделия и отходов;
15. Оформление технологической документации.

5.1 Изучение и анализ рабочего чертежа детали

Изучение чертежа является первым ответственным шагом в проектировании технологического процесса. При проведении анализа необходимо обратить внимание на следующие особенности детали.

Вначале по геометрическим проекциям и сечениям уясняется конфигурация детали, выясняется форма всех поверхностей детали и их пространственное взаимное расположение. Анализ конфигурации детали можно считать выполненным, если у технолога образовалось четкое пространственное представление о ней.

При последующем обходе (переборе) поверхностей изучаются их размеры и требуемая точность (допуски, посадки). Допуски на свободные размеры механически обрабатываемых поверхностей и на размеры холодноштампованных деталей из листа в авиационной промышленности назначаются по соответствующей нормали.

Затем изучается требуемая по чертежу точность формы поверхностей и точность их взаимного расположения (параллельность, перпендикулярность, соосность). Анализ точности формы и размеров основных или рабочих поверхностей дает основание составить представление о методах окончательной обработки и о числе ступеней обработки указанных поверхностей, а анализ системы простановки линейных координирующих размеров - выявить конструкторские базы и предварительно наметить последовательность обработки основных поверхностей.

Для решения последующих задач проектирования технологического процесса важны изучение материала детали, анализ требований по механическим свойствам и характера термической обработки. Это послужит основанием для правильного решения вопросов о методах обработки (обработка резанием, электрохимическая обработка и т. п.), о членении технологического процесса на этапы, о способах выполнения окончательных, отделочных и упрочняющих операций. Оценка технологичности может быть

качественной и количественной, которая проводится с помощью системы показателей, устанавливаемых ГОСТом.

5.2 Выбор вида, способа получения и формы заготовки

В практике машиностроения используют следующие виды заготовок: прокат, поковки, отливки и комбинированные заготовки (штампо-сварные и т. п.). Выбор заготовки является многовариантной задачей. С точки зрения экономии материалов, особенно дорогостоящих жаропрочных и титановых сплавов, и с точки зрения сокращения затрат времени и средств на механическую обработку целесообразно выбирать заготовки, которые по форме, размерам, точности и качеству поверхности возможно полнее соответствовали бы параметрам готовой детали. Но при этом будут увеличиваться текущие и единовременные затраты на получение заготовки в заготовительном цехе (на штамповочную или литейную оснастку, на технологическое оборудование и т. д.). С другой стороны, упрощением формы заготовки, снижением требований к ее точности и качеству можно значительно уменьшить затраты на ее изготовление. Но в этом случае снизится коэффициент использования материала и увеличатся затраты на обработку такой заготовки в механическом цехе. Поэтому вопрос о заготовке решается в несколько этапов: сначала намечается предварительно несколько ее вариантов, а затем после выполнения других этапов проектирования технологического процесса (расчета припусков, режимов резания и норм времени) производится экономический анализ вариантов заготовки по трудоемкости или по технологической себестоимости. Принимается вариант заготовки, при котором обеспечивается минимум суммы технологических себестоимостей по заготовительному и механическому цехам.

Основными факторами, определяющими вид заготовки, являются материал детали, ее конфигурация и габаритные размеры. Во многих случаях заданный по чертежу материал уже определяет вид заготовки. Большое значение при выборе вида заготовки имеет объем выпуска изделий или тип производства.

5.3 Установление планов обработки основных поверхностей деталей

Деталь представляет собой совокупность определенным образом расположенных поверхностей, поэтому логично работу по проектированию технологического процесса обработки деталей начать с установления планов обработки (маршрутов) ее отдельных поверхностей. Для каждой поверхности должно быть определено число ступеней обработки (операций, переходов), методы выполнения каждой ступени и их последовательность. На число ступеней обработки и на состав планов обработки поверхностей детали влияют следующие факторы:

1. Точность формы и размеров исходной заготовки - чем заготовка точнее, тем меньшее число ступеней обработки потребуется для достижения требуемой точности формы и размеров поверхностей.

2. Требуемая по чертежу точность формы и размеров рассматриваемой поверхности - чем выше требуемая точность (меньше допуски), тем большее число ступеней обработки необходимо использовать и наоборот.

3. Наличие и характер термической обработки. Большинство методов термической обработки (цементация, закалка, отпуск, азотирование) связано с потерей точности формы и размеров поверхностей достигнутой на предшествующих ступенях

механической обработки. Поэтому наличие термообработки увеличивает число ступеней обработки ответственных поверхностей детали на 1-2.

4. Требуемая по чертежу точность соотношений (расположения) поверхностей. Иногда при размерах со свободными допусками (14 кв.), которые можно обеспечить однократной обработкой торцов, приходится вводить операции чистового точения и шлифования, если заданы жесткие допуски на непараллельность или перпендикулярность.

5. Если рассматриваемая поверхность в технологическом процессе выполняет роль установочной базы, то число ступеней ее обработки будет на 1-2 больше по сравнению с тем, которое требуется для получения заданной по чертежу точности размеров и формы этой поверхности. Обычно базирующие поверхности с самого начала обрабатываются весьма точно, а после каждого этапа (чернового, чистового) и после термической обработки производится обновление (уточнение) баз.

6. Число ступеней обработки зависит также от требуемого по чертежу качества данной поверхности. В отдельных случаях способ окончательной обработки, применяемый для получения размера в пределах заданного чертежом допуска, не обеспечивает заданного качества поверхности (шероховатости, физико-механических свойств поверхностного слоя). Тогда вводят еще 1-2 ступени обработки - отделочную или упрочняющую операции.

5.4 Разделение технологического процесса на этапы

Деление технологического процесса на этапы, выделение обработки поверхностей в отдельные черновые, чистовые и т. п. операции позволяет наиболее экономичным путем обеспечить достижение заданной точности формы и размеров и качества поверхности. Это объясняется следующими обстоятельствами.

1. При обработке каждой данной поверхности нельзя избежать некоторого искажения ранее обработанных поверхностей в результате перераспределения внутренних напряжений, вызванного черновой обработкой других поверхностей. Кроме того, эта поверхность может быть повреждена при последующем закреплении детали с большими усилиями, которые бывают, необходимы при черновой обработке.

2. При снятии больших припусков при черновой обработке происходит значительное нагревание детали. Если ее в этой же операции обработать окончательно, то после завершения обработки (после возвращения к нормальной температуре) она будет иметь погрешности формы и размеров.

3. При наличии термообработки отделение чистовой обработки от черновой или окончательной от предварительной становится обязательным. Как уже отмечалось, при термообработке имеет место снижение достигнутой при предварительной обработке точности формы и размеров, и для достижения заданной точности нужна механическая обработка после термической.

4. Разделение процесса на этапы целесообразно также с точки зрения рационального использования технологического оборудования и рабочей силы. Для операций этапа черновой обработки используются мощные жесткие станки, для операций же этапа чистовой обработки применяются менее мощные, но более быстроходные и более точные станки.

5.5 Формирование плана операций (маршрутной технологии)

Следующим шагом в проектировании технологического процесса изготовления детали является разделение процесса на операции. При этом в комплексе взаимосвязано приходится решать ряд вопросов - о степени концентрации или дифференциации операций, о выборе методов обработки, выборе оборудования и

технологических баз. Однако с методической точки зрения рекомендации по решению этих задач рассмотрим отдельно.

Принцип концентрации характеризуется тенденцией сосредоточить в одной операции обработку возможно большего числа поверхностей.

Принцип дифференциации - предусматривает разукрупнение обработки и упрощение каждой операции за счет увеличения их числа.

5.6 Установление последовательности обработки основных поверхностей детали

При анализе чертежа детали, установление последовательности обработки основных поверхностей детали является важным и необходимым этапом проектирования технологического процесса.

Наиболее существенное влияние на последовательность обработки отдельных поверхностей детали оказывает характер размерной связи, который определяется системой простановки линейных координирующих размеров и системой допусков на неточность взаимного расположения поверхностей (на несоосность, непараллельность, неперпендикулярность). Различают 3 системы простановки размеров - координатную, цепную и смешанную. В координатной системе выбирают одну поверхность и относительно ее координируют положение всех поверхностей данного координатного направления (рис.27,а). При такой системе на каждом этапе обработки первой нужно обрабатывать поверхность, от которой проставлены все размеры (поверхность 1 на рис.27,а), последовательность же обработки остальных поверхностей может быть любой. Если же в нашем примере начать обработку не с поверхности 1, а с какой-либо другой, то придется произвести пересчет размеров и на некоторые из операционных размеров принять допуски более жесткие, чем по чертежу.

В цепной системе размеры проставляются непрерывной цепью один за другим (рис.27,б). Правило о последовательности обработки поверхностей при этом будет иным: начинать обработку можно с любой поверхности, но затем обработка остальных поверхностей должна выполняться в последовательности, которая диктуется простановкой размеров. Если для приведенного на рис.27,б примера обработать первой поверхность 2, то остальные поверхности нужно будет обработать в последовательности 3-4-5-6-7-1. Можно начать обработку с поверхности 7, тогда последовательность обработки остальных поверхностей будет 6-5-4-3-2-1. И при цепной простановке размеров отклонение от рекомендованной последовательности обработки приведет к необходимости пересчета размеров и к ужесточению допусков на некоторые из них.

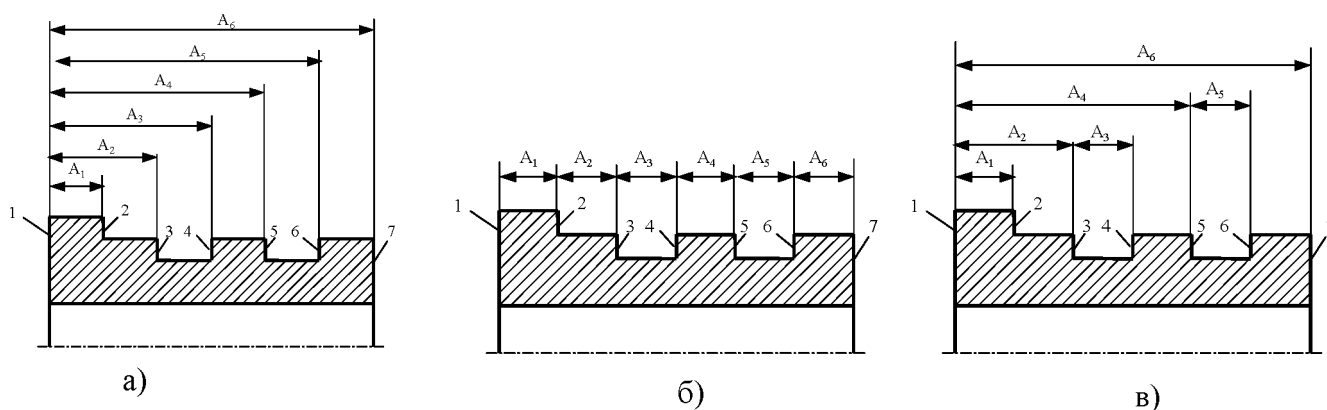


Рис.27 Системы простановки размеров: а- координатная; б- цепная; в- комбинированная

На рис.27в, показана наиболее часто используемая смешанная или комбинированная система простановки размеров. Правила для установления последовательности обработки поверхностей также будут комбинированными: для поверхностей, связанных размерами по координатной системе, последовательность будет определяться по правилам для такой системы, а поверхности, связанные размерами по цепной системе, должны обрабатываться в последовательности, определяемой рекомендациями для цепной простановки. Так, для примера по рис.27в, первой должна обрабатываться поверхность 1; поверхности 2, 3, 5 и 7 могут затем обрабатываться в любой последовательности, поверхность 4 должна обрабатываться после обработки поверхности 3, а 6 - после 5.

5.7 Выбор оборудования

Основным фактором, влияющим на допустимую степень дифференциации, является объем выпуска изделий или тип производства. В условиях единичного и мелкосерийного производства требование упрощения планирования и учета будет основным и поэтому наиболее рациональным в этом случае оказывается построение плана обработки по принципу организационной и отчасти механической концентрации с использованием универсального оборудования и рабочих высокой квалификации. Такая структура технологических процессов характерна для цехов опытного производства, ремонтных цехов, цехов по изготовлению штампов и приспособлений.

По мере увеличения объема выпуска изделий, т. е. при переходе к средне- и крупносерийному производству, открываются два пути совершенствования технологического процесса:

- а) путь дифференциации операций;
- б) путь совершенствования самих концентрированных операций.

Первый путь, как уже отмечалось, ведет к упрощению оборудования, оснастки, но он является недостаточно эффективным с точки зрения повышения производительности труда рабочего. Более прогрессивным является путь построения процесса с использованием принципов механической и технологической концентрации с применением высокопроизводительных станков - многолезцовых, многошпиндельных, агрегатных и т. п., работающих по автоматическому циклу. Наивысшего развития идея технологической концентрации операций получает при использовании автоматических поточных линий станков, обрабатывающих центров с программным управлением и интегрированных производственных систем.

Вопросы выбора оборудования и методов обработки связаны между собой очень тесно, поэтому целесообразно рассмотреть их вместе. Большинство ступеней обработки можно выполнить с использованием различных методов обработки и оборудования. Поэтому возникает задача выбора наиболее целесообразного для каждого конкретного условий варианта оборудования.

Основными факторами, влияющими на выбор оборудования, являются: конфигурация и габаритные размеры детали; требуемая по характеру операции точность обработки; объем выпуска изделий, размер партии деталей; вид заготовки (штучная, из прутка).

С технологической точки зрения станки разделяются на четыре группы:

1. Станки общего назначения (универсальные). Сюда относятся токарно-винторезные, вертикально - и радиально-сверлильные, вертикально - и горизонтально-фрезерные и т. п.

2. Станки общего назначения с повышенной производительностью. Станки этой группы менее универсальны, они имеют меньший диапазон значений частоты вращения и подач, но обеспечивают более высокую производительность (токарно-револьверные станки, токарные автоматы и полуавтоматы, бесцентрово-шлифовальные и т. п.).

3. Станки определенного назначения. В эту группу входят станки, предназначенные для выполнения операций одного наименования у различных деталей: станки зуборезные, резбифрезерные и т. п.

4. Специальные станки, предназначенные для выполнения только какой-либо одной операции обработки, одной или небольшого числа наименований деталей. Следует оговорить, что специальные станки проектируются и строятся по отдельному заказу и поэтому стоимость их весьма высока. Для уменьшения стоимости и уменьшения времени проектирования, и изготовления широко используют агрегатирование (агрегатные станки).

Выбор оборудования той или иной группы производится на основании заданной программы выпуска.

Для некоторых специфических деталей выбор оборудования является predetermined, так как для большинства операций по обработке таких деталей выпускаются станки определенного назначения.

В заключение выбирается типоразмер (модель) станка из условия соответствия: точностных возможностей станка заданной точности операционных размеров; рабочей зоны станка габаритным размерам детали; мощности, жесткости, диапазонов скоростей и подач станка условиям наиболее выгодных режимов обработки.

5.8 Выбор технологических баз

Одним из наиболее сложных и принципиальных разделов проектирования ТП механической обработки является выбор баз. Выбор баз представляет собой многовариантную задачу. От правильности выполнения этой работы в значительной степени зависят: сложность размерных связей (цепей), фактическая точность выдерживания линейных размеров и взаимного расположения обрабатываемых поверхностей, степень сложности и конструкция приспособлений, режущих и мерительных инструментов, общая производительность и экономичность обработки заготовки.

Выбор баз выполняется технологом в самом начале проектирования технологического процесса одновременно с работой по выявлению ступеней и этапов обработки отдельных поверхностей заготовки. Назначение баз начинается с выбора технологической базы для выполнения первой операции.

Технологическая база, используемая при первой установке заготовки, называется черновой (или черной) технологической базой. В качестве черновой технологической базы следует выбирать поверхность, относительно которой на первой операции могут быть обработаны поверхности, используемые на дальнейших операциях как технологические базы (т. е. черновая база - это база для обработки чистовых баз). Черновая база должна использоваться при обработке заготовки только один раз - при выполнении первой операции.

Для обеспечения точности базирования и надежности закрепления заготовки в приспособлении черновая база должна иметь достаточные размеры, возможно более высокую степень точности и наименьшую шероховатость поверхности. Для того, чтобы обеспечить правильное взаимное расположение системы обработанных

поверхностей детали относительно необработанных, в качестве черновых технологических баз целесообразно выбирать поверхности, остающиеся необработанными, что обычно имеет место при применении литых заготовок.

В качестве черновых баз не следует использовать поверхности, на которых расположены в отливках прибыли и литники, сварочные швы, облой и т. п.

При выборе чистовых технологических баз (баз на всех последующих операциях кроме первой) необходимо соблюдать ряд рекомендаций (правил, принципов).

1. Принцип совмещения измерительной (исходной) и конструкторской баз. Он заключается в том, что для непосредственного выполнения заданных по чертежу размеров и других геометрических параметров в операциях окончательной обработки измерительные или исходные базы должны быть совмещены с конструкторскими базами. Это условие можно выразить равенством $ИБ=КБ$. Нарушение этого правила приводит к необходимости пересчета размеров и ужесточению допусков по сравнению с заданными по чертежу. Заметим, что возможность реализации этого принципа должна быть реализована в первую очередь конструктором при проектировании детали.

2. Принцип совмещения технологической установочной и первой исходной базы. Этот принцип состоит в том, что для облегчения возможности выполнения операционных размеров по способу автоматического получения размеров (работа по настройке) необходимо совмещать установочную и первую исходную базы, т. е. обеспечивать равенство $УБ = ИБ1$.

3. Принцип единой технологической базы. Он состоит в том, что если при окончательной обработке заданной поверхности поверхность, являющаяся для нее конструкторской базой, не может быть использована в качестве технологической базы, то целесообразно две эти поверхности (заданную и конструкторскую) обрабатывать, пользуясь единой (одной и той же, общей) технологической базой.

4. Принцип постоянства технологических баз. Он заключается в том, что обработку многих или всех поверхностей детали на большинстве или даже на всех операциях выполняют, пользуясь одной и той же постоянной технологической базой.

5.9 Определение припусков, операционных размеров и операционных допусков

Припуском на обработку называется слой металла, который необходимо удалить с заготовки для получения готовой детали в соответствии с требованиями чертежа. Разность размеров заготовки и окончательно обработанной детали определяет величину общего припуска.

Различают общий и операционной припуски.

Операционным припуском называется слой металла, который должен быть удален на протяжении данной операции (обдирка, чистовая обработка, шлифование и т.д.). Величина операционного припуска z_i определяется как разность размеров, полученных на предшествующей и последующих операциях.

Общий припуск на обработку равен сумме операционных припусков по всем технологическим операциям.

Размер припуска оказывает существенное влияние на технико-экономические показатели технологического процесса. Чрезмерно большие припуски снижают производительность и экономичность технологического процесса. Очень малые припуски тоже не желательны, так как при этом усложняется технологический процесс, повышаются требования к точности обработки, увеличивается процент

брака, что также снижает производительность и увеличивает себестоимость обработки.

В условиях серийного и массового производства особенно важно иметь устойчивые припуски, так как всякое изменение припуска неизбежно приводит к нарушению нормального хода производственного процесса. Поэтому установление рациональных припусков на обработку относятся к числу важнейших задач технологической науки. Для расчета общих и операционных припусков для различных отраслей машиностроения разработаны и применяются нормы и руководящие технологические материалы (РТМ).

При расчете операционных размеров различают следующие припуски:

$z_{i \min}$ (наименьший операционный припуск) - разность наименьшего предельного размера до обработки и наибольшего предельного размера после обработки заготовки детали для данной операции,

$$z_{i \min} = D_{i \text{наим}} - D_{i \text{наиб-1}} \quad (5.1)$$

$z_{i \max}$ (наибольший операционный припуск) - разность наибольшего предельного размера до обработки и наименьшего предельного размера после обработки для данной операции

$$z_{i \max} = z_{i \min} + \delta_{i-1} + \delta_i \quad (5.2)$$

z_{in} (номинальный, расчетный припуск) - разность номинального размера детали до и после обработки для данной операции,

$$z_{in} = z_{i \min} + \delta_{i-1} \quad (5.3)$$

где $(\delta_{i-1}$ и δ_i — допуски для предшествующей и последующей операций; $D_{i-1 \min}$ — наименьший предельный размер заготовки детали до обработки и $D_{i \max}$ — наибольший предельный размер после обработки.

В практике машиностроения применяются два основных метода определения припусков на обработку: опытно-статистический и расчетно-аналитический. При **опытно-статистическом** методе используются табличные данные, составленные на основании обобщения и систематизации опыта передовых заводов отрасли. Достоинство этого метода состоит в том, что использование усредненных нормативных значений припусков (общих и операционных) сокращает сроки проектирования технологических процессов, исключает возможность грубых просчетов и упрощает нормирование расхода материалов. Недостатком этого метода является назначение припуска без учета требований конкретного технологического процесса, что, как правило, влечет за собой применение завышенных припусков.

Расчетно-аналитический метод определения припуска, разработанный проф. В. М. Кованом, учитывает конкретные условия выполнения технологического процесса обработки и позволяет получить более точные значения припусков. Он основан на анализе влияния на величину припуска основных факторов: шероховатости поверхности после предшествующей обработки; дефектного слоя заготовки (наличие раковин, поверхностных трещин, шлаковых включений, вмятин, волосовин, наклепа, изменения химсостава и др.); погрешностей размеров и формы, возникших за счет погрешностей установки, и погрешностей предшествующей обработки; деформаций и др.

Для расчета припусков необходимо располагать численными значениями составляющих. Величина R_z определяется по заданной шероховатости поверхности на предшествующей операции согласно ГОСТ. Величину дефектного слоя,

зависящую от метода, режимов обработки и пластических свойств материала, можно определить по экспериментальным данным. Что касается погрешностей формы и размеров, то они нормируются допусками в зависимости от требуемой точности обработки на данной операции.

Для каждой конкретной схемы обработки можно определить погрешность установки и погрешность, связанную с нежесткостью технологической системы.

Расчетно-аналитический метод определения припусков целесообразно применять для расчета размеров исходной заготовки при проектировании технологических процессов изготовления ответственных деталей в условиях крупносерийного и массового производства.

5.10 Назначение операционных допусков

При проектировании технологического процесса механической обработки заготовок выполняется, всесторонняя его регламентация путем назначения операционных допусков: допусков на операционные размеры, допусков формы и расположения поверхностей, допусков на шероховатость поверхностей и некоторых других. В технологической документации проставляются допуски на все операционные размеры. При этом должно выполняться следующее правило:

Правило 1. Величину операционного допуска следует принимать в соответствии со среднеэкономической точностью используемого метода обработки, с учетом схемы формирования размера и состояния исходной (измерительной) базы.

Экономическая точность обработки находится в обратной зависимости от себестоимости обработки.

Профессор А.П. Соколовский предложил следующую зависимость времени обработки T от точности: $T = T_a + L / \Delta_0^k$;

где T_a - постоянная величина, соответствующая минимально возможной затрате времени;

Δ_0 - сумма погрешностей, зависящих от нагрузки;

L и K - постоянные.

Зависимость стоимости обработки Q имеет аналогичный характер, т.е. близка к гиперболе, как и T . Кривую можно разделить на три участка: А - где даже незначительное повышение точности достигается ценой очень больших затрат T и Q . Этот участок называют участком достижимой точности.

В - повышение точности обработки достигается более - менее пропорциональными затратами. Этот участок называют участком экономической точности. На участке С незначительные затраты приводят к заметному повышению точности. Это неправильно. В

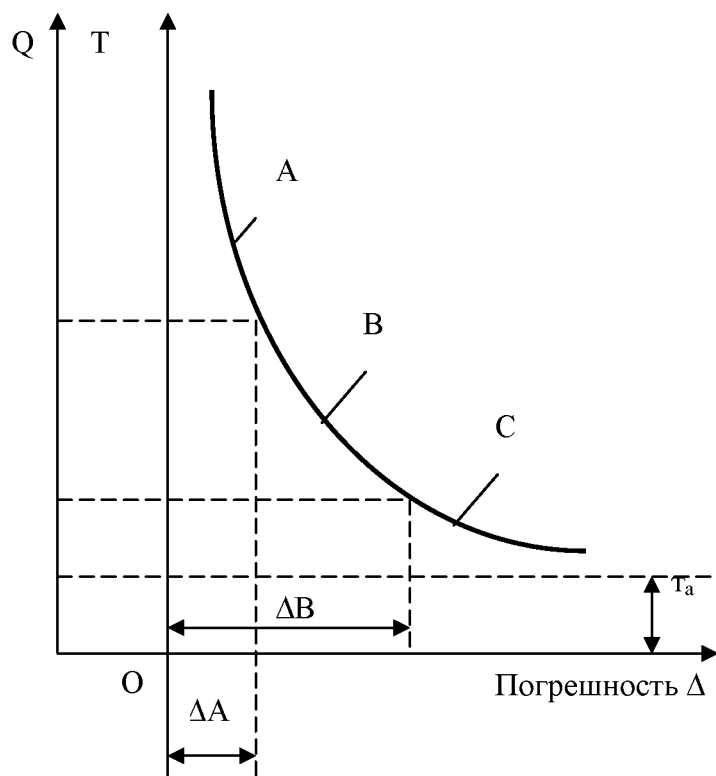


Рис.28 Зависимость стоимости обработки от точности

этом случае ошибочно выбран метод обработки, так как он выбран с большим запасом точности. Например, если поверхность с большим допуском на изготовление обрабатывается на прецизионном станке.

Выбор оптимальной точности обработки - сложная технико-экономическая задача. С одной стороны с увеличением точности резко возрастает стоимость и время обработки. С другой стороны с уменьшением точности резко падают эксплуатационные свойства машин.

В зависимости от схемы формирования, операционные размеры целесообразно разделить на межоперационные и внутриоперационные. **Межоперационным** условимся называть линейный размер, исходной базой которого является поверхность, обработанная ранее в другой (предшествующей) операции. Такую схему формирования называют односторонней. Погрешность (поле рассеивания) межоперационного размера будет включать две составляющие (связанную с обработкой и связанную с установкой).

Внутриоперационным будем называть размер, связывающий поверхности или участки одной поверхности, обработанные в одной операции, при одной установке (двухсторонняя обработка). Внутриоперационными являются все диаметральные операционные размеры. На точность внутриоперационных размеров способ установки не влияет. Следовательно, при одном и том же методе обработки точность внутри операционных размеров будет выше (погрешность ω меньше) точности межоперационных размеров. Эта закономерность должна устанавливаться при выборе допусков.

Среднеэкономическая точность обработки зависит также от состояния (качества) технологической базы, по которой производится установка заготовки и от которой измеряется размер после обработки. Если поверхность, являющаяся технологической (установочной и измерительной) базой, еще не обработана, то точность отсчитываемого и измеряемого от нее размера будет ниже.

Правило 2. Допуск на размер в операции окончательной обработки, выполняемой на неавтоматизированном оборудовании по способу пробных проходов и промеров (например, при шлифовании наружных и внутренних поверхностей, плоскостей и торцов), **следует принимать равным допуску, заданному в рабочем чертеже детали.** Для остальных случаев обработки по настройке остается в силе правило выбора допусков в соответствии с экономической точностью используемого метода обработки.

Правило 3. Система простановки допуска на операционный размер должна быть такой, чтобы поле допуска отсчитывалось в металл (в «тело»).

Следует обратить внимание на то обстоятельство, что изложенное выше правило выбора системы простановки допусков (отклонений) распространяется только на операционные размеры, получаемые при механической обработке. Поле допуска на размеры заготовок (проката, штамповок, отливок и т. д.) по действующим в нашей стране общесоюзным и отраслевым стандартам имеет двухстороннее расположение относительно номинала.

Правила 1-3 являются основными. В соответствии с ними разработаны таблицы отраслевых стандартов для выбора допусков на операционные размеры при механической обработке заготовок.

Правило 4. Допуски на размеры, координирующие положение осей отверстий, следует проставлять по двухсторонней симметричной системе (например, $A \pm 0.20 \text{ мм}$). Аналогичная система простановки допусков используется и для размеров расстояний между осями шеек кривошипов и коленчатых валов.

Правило 5. Если поверхность, обрабатываемая в данной операции, в последующем будет использоваться в качестве базы, то допуск на ее размер выбирается, исходя из условия обеспечения заданной точности установки, точности измерения или точности настройки.

Правило 6. Если размер, выдерживаемый в данной операции, влияет на точность других размеров детали, то допуск на него определяется на основе решения соответствующих размерных цепей. В таких случаях часто оказывается необходимым принять допуск по более высокому качеству, чем экономическая точность применяемого метода обработки. Порогом здесь будет являться уже технически достижимая точность.

Назначение операционных допусков радиального биения выполняется с целью ограничения неравномерности припуска на выполняемую и последующие ступени обработки поверхности. На операциях окончательной обработки допуски радиального биения должны обеспечивать заданную в технических требованиях (ТТ) чертежа точность расположения цилиндрических поверхностей. Численные значения операционных допусков радиального биения обработанной поверхности относительно поверхности (поверхностей), принятую за установочную базу, можно определить по таблицам, имеющимся в литературе по технологии машиностроения.

Полученные значения операционных допусков заносятся в операционные карты (в операционные эскизы). В простейшем случае используется текстовая форма: под общим заголовком «Технические требования», «Технические условия» или «Примечание» записывается: 1. Биение поверхности ...относительно базы – поверхности ... допускается не более...мм. Другая форма записи – по СТ СЭВ 368-76 с помощью «флажков»

5.11 Определение операционных размеров

Операционные размеры по всем операциям и переходам механической обработки определяются на основе расчета припусков. Величина припуска измеряется по нормали к обрабатываемой поверхности и, как правило, считается на сторону. Операционные допуски направлены в тело заготовки: для отверстия - в сторону плюс, для наружных тел вращения - в сторону минус.

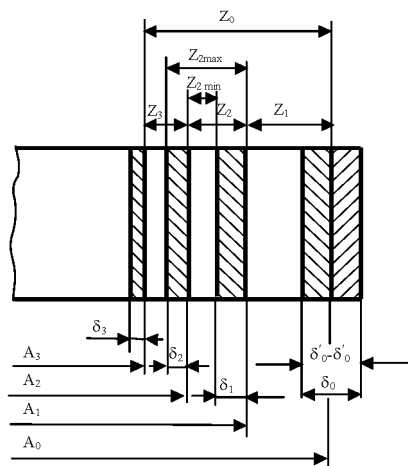


Рис.29 Схема определения операционных размеров, припусков и допусков

Расчет операционных размеров, припусков и допусков производится в определенной последовательности: вначале определяются базовые установочные поверхности, намечается порядок выполнения операций технологического процесса и устанавливаются значения шероховатости, дефектного слоя, погрешности обработки и базирования и величина допуска. Затем определяются припуски по всем операциям. На рис.29 приведена схема определения операционных размеров, припусков и допусков на различных стадиях обработки наружных поверхностей вращения, где A_1, A_2, A_3 - операционные размеры на различных стадиях обработки;

z_1, z_2, z_3 - припуски на черновую, чистовую обработку;

$\delta_1, \delta_2, \delta_3$ - соответствующие допуски на черновую, чистовую и окончательную обработку;

A_0 - размер заготовки; δ_0 - допуск на заготовку; z_0 - общий припуск; z_{\min} - минимальный припуск;

z_{\max} - максимальный припуск.

Таблица 4 - Средние значение погрешностей установки единичных заготовок

Характеристика базовой поверхности	Погрешность установки, мм		
	В самоцентрирующем патроне (3-х и 2-х кулачковом)	В цанговых приспособлениях и оправках	В приспособлениях и на оправках с гидропластом
После горячей штамповки или литья	0,2...0,5	-	-
После литья в оболочковую форму или после обдирки	0,1...0,25	-	-
После черновой обработки, калиброванный прокат (5-й класс точности)	0,07...0,15	0,05...0,12	-
После чистовой обработки (3-й класс точности)	0,03...0,07	0,03...0,05	0,01...0,015
После шлифования (2-й класс точности)	0,02...0,05	0,015...0,025	0,01...0,015

Для наружных поверхностей вначале определяется расчетный размер обрабатываемой детали для последней операции согласно чертежу, затем к наименьшему предельному размеру детали прибавляется величина операционного припуска предпоследней операции и указывается величина допуска на данную операцию. Определяется операционный размер и далее к нему прибавляется припуск предшествующей операции, и в таком порядке определяются расчетные размеры по всем операциям технологического процесса. Для поверхности вращения (отверстия)

из наибольшего предельного размера отверстия, заданного чертежом детали вычитается величина операционного припуска последней операции и определяется расчетный операционный размер; далее из него вычитается припуск предшествующей операции и определяется операционный размер и т. д.; в такой же последовательности определяются операционные размеры для всех последующих операций.

Ниже приводится пример расчета операционных размеров и припусков расчетно-аналитическим и опытно-статистическим методами (по нормативным таблицам) Расчет размеров заготовки зависит от выбора вида исходной заготовки. Так, например, при обработке заготовок из калиброванной и горячекатаной стали (пруток), после определения расчетного наименьшего предельного размера заготовки подбирается по стандартному сортаменту ближайший диаметр прутка, и тогда

Таблица 5- Расчет припусков на обработку вала

Маршрут обработки	Составляющие расчетного припуска, мм				Расчетный припуск Z_i , мм	Минимальный размер (операционный)	Припуски и минимальные размеры	
	$R_{Z_{i-1}}$	T_{i-1}	ρ_{i-1}	ε_i			Z_i	операционный размер
Заготовка- калиброванный прокат	-	-	-	-	-	32,12	-	32,57
Черновое обтачивание	0,2	0,3	0,24	0,31	2,1	30,32	2,2	30,37
Чистовое обтачивание	0,03	0,05	0,05	0	0,26	30,06	0,3	30,07
Термообработка	-	-	-	-	-	-	-	-
Шлифование	0,015	0,02	0,01	0	0,09	29,97	0,1	29,97
Заготовка $34^{+0,2}_{-0,6}$								

действительный общий припуск на обработку детали по диаметру составит:

$$2Z_0 = D_3 - D_d \quad (5.4)$$

где D_3 - диаметр заготовки, принятый по таблицам стандартного сортамента пруткового материала; D_d - наименьший предельный размер детали по чертежу детали.

При обработке многоступенчатых валов из проката размер заготовки определяется таким же образом, но наибольший предельный размер детали по чертежу принимается по наибольшему диаметру ступени, а остальные ступени обрабатываются с напуском.

При расчете припусков для штампованных заготовок учитывается конфигурация детали и содержание операционных переходов при обработке различных поверхностей (черновая и чистовая обработка, шлифование, полирование и т. п.), при этом для упрощения конфигурации заготовки (углубления, переходы, уступы) предусматриваются напуски, а также штамповочные уклоны и радиусы переходов,

исключающие возможность появления трещин при штамповке. Размеры штампованной заготовки определяются по уравнениям:

$$D_{зн} = D_{дн} - 2Z_0. \text{ - для наружной цилиндрической поверхности;} \quad (5.5)$$

$$D_{зв} = D_{дв} - 2Z_0 \text{ - для отверстия,}$$

где $D_{дн}, D_{дв}$ - номинальный размер детали по чертежу;

$D_{зн}, D_{зв}$ - номинальный размер заготовки; Z_0 - общий припуск. При определении размеров заготовок на машиностроительных предприятиях обычно используют нормативы припусков, приведенные в общесоюзных стандартах или в отраслевых нормативах. ГОСТы и нормали на припуски образуют систему, которая позволяет определять общий припуск и размеры заготовки до разработки подробного технологического процесса механической обработки. В этом случае проектирование штампованной заготовки и технологического процесса ее изготовления может осуществляться параллельно с проектированием технологии механической обработки, что значительно сокращает сроки технической подготовки производства и освоения нового изделия. При нормативном методе расчета размеров заготовки припуск на обработку заданной поверхности выбирают из таблиц в зависимости от габаритов детали, вида обработки, наличия и характера термообработки и т. д. на основании разработанной маршрутной технологии.

Общий припуск определяется как сумма операционных припусков. При этом для черновых операций величины их принимают по отраслевой нормали 0300-02. Величина припуска на черновую обработку включает в себя также необходимую величину припуска для удаления дефектного слоя заготовки. При нормативном методе расчет заготовок производится по номинальным значениям припусков и размеров. На рис. приведен пример нормативного расчета размеров штампованной заготовки.

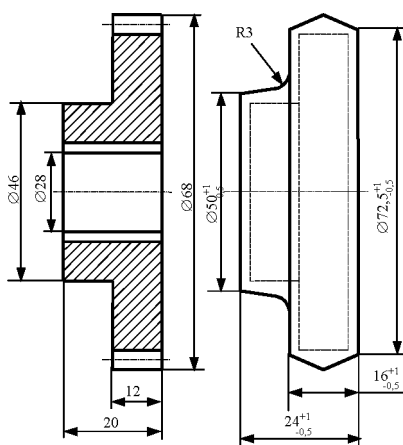


Рис.30 К примеру нормативного расчета размеров штампованной заготовки: а- эскиз детали; б- эскиз штамповки

Для определения размеров литых заготовок, также как и штампованных, необходимо учитывать напуски, упрощающие конфигурацию заготовки, формовочные уклоны, радиусы литых галтелей, коробление, смещение стержней, наружные и другие дефекты отливок. Величина общего припуска на литые заготовки зависит от методов литья и физико-механических и металлургических свойств материала заготовки. Наибольший припуск требуется на черновую обработку заготовок, отливаемых в земляные формы,

наименьший для заготовок, отливаемых в кокиль, и по выплавляемым моделям. Расчет размеров и допусков на литые заготовки в большинстве случаев производится нормативным методом. Нормативные таблицы разрабатывают по отраслям машиностроения с учетом способа обработки, вида заготовки, требуемой точности и других технологических факторов. По мере развития техники производства и повышения точности регулирования технологических процессов табличные данные припусков периодически пересматриваются и уточняются.

5.12 Технические требования на операцию

В технических требованиях (технических условиях) на операции регламентируются (оговариваются):

допустимая погрешность формы (неплоскостность, нецилиндричность и т. п.), регламентируется не всегда, а лишь в тех случаях, когда она должна быть меньше допуска на соответствующий размер поверхности или координирующий размер. Во всех случаях нужно оговаривать так называемые неконтролируемые погрешности формы (см. разд.) - изогнутость (коробление) оси цилиндрических заготовок и т. п.;

допустимая непараллельность плоскостей и осей оговаривается также не всегда, а только в случаях, когда по служебному назначению детали непараллельность должна быть меньше допуска на соответствующий координирующий размер;

допустимая неконцентричность цилиндрических поверхностей (несоосность, биение) должна регламентироваться всегда, во всех случаях, независимо от того, в каком соотношении находится допуск на неконцентричность с допусками на размеры цилиндрических поверхностей;

допустимая перпендикулярность плоскостей и осей должна регламентироваться всегда. Однако в практике машиностроения допустимую перпендикулярность регламентируют в основном только на операциях окончательной обработки и не оговаривают на черновых и промежуточных операциях, полагаясь на то, что там она обеспечивается схемой обработки;

допустимая несимметричность (пазов и т. п.), как и несоосность, должна регламентироваться во всех случаях. Фактически же допустимую несимметричность регламентируют только в случаях высоких требований к ней, полагаясь в остальных случаях на то, что будет обеспечена автоматически выбором схемы обработки и установки.

Цель установления операционных допусков на неточность формы и расположения поверхностей полностью идентична задачам назначения допусков на операционные размеры.

6. Технологические методы обработки

6.1 Методы получения заготовок

Заготовки деталей машин получают литьем, горячим деформированием, резкой сортового проката, а также комбинированными способами.

Получение заготовок литьем характеризуется данными таблицы 6. Коэффициентом использования металла (КИМ) может быть от 0,6 до 0,9. Наивысший КИМ у методов 7,8,11, а также 6,9 и 10. Перспективен метод литья по газифицируемым моделям из пенополистирола. Он сокращает процесс изготовления заготовок в сравнении с методом литья по выплавляемым моделям. Прогрессивна штамповка заготовок из жидкого металла. Преимущества: нет литниковой системы, высокая точность, малая шероховатость, возможность получения стенок толщиной до 0,5 мм.

Получение заготовок методами обработки давлением (ОМД) представлено в таблице 7. Холодная листовая штамповка является высокопроизводительным методом. Точность листовой штамповки в совмещенном штампе $\pm 0,02-0,08$ мм, последовательном $\pm 0,10-0,30$ мм, разделительном $\pm 0,30-0,50$ мм.

Для изготовления деталей из сортового проката применяют: круглый, квадратный, шестигранный, полосовой прокат, а также бесшовные и сварные трубы. Заготовки валов часто получают из полосы, которую после разрезки вальцуют в цилиндр, а шов сваривают. Гнутые профили применяются для изготовления многих деталей они достаточно жесткие и легкие.

Специальный прокат применяется в крупносерийном и массовом производстве. Он почти исключает обработку резанием. Перед резкой сортовой прокат обычно правят см. табл.8,9.

Таблица 6 - Характеристика методов выполнения отливок

№	Литье заготовки	Масса заготовки, т	Наименьшая толщина стенки, мм	Форма заготовки	Шероховатость поверхности Ra, мкм	Материал	Производство
1	В песчаную смесь: при ручной формовке по деревянным моделям или шаблонам в опоках, почве или кессонах	Не ограничена (100 и более)	Из чугуна 3-5, из стали 5-8, из цветных металлов 3-8	Сложная	80-20	Чугун, сталь, цветные и специальные сплавы	Единичное и мелко-серийное
2	При машинной формовке по деревянным и металлическим моделям	До 10	То же	-	20-5	То же	Серийное
3	При машинной формовке по металлическим моделям со сборкой стержней в кондукторах	3-5	-	-	-	-	Массовое и крупносерийное

Продолжение табл.6

№	Литье заготовки	Масса заготовки, т	Наименьшая толщина стенки, мм	Форма заготовки	Шероховатость поверхности Ra, мкм	Материал	Производство
4	В стержневые формы	Не ограничены	-	-	-	-	Единичное, серийное и массовое
5	В многократные (цементные, графитовые, асбесто-и графитоалебастровые) формы	0.03-30	То же	Сложная	80-20	-	Серийное
6	В оболочковые формы	До 0.15	Из стали 3-5, из алюминия 1-1,5	То же	10-2,5	-	Серийное и массовое
7	По выплавляемым моделям	До 0,15	0,5	Сложная (при сборных моделях)	10-2,5	Сталь, трудно обрабатываемые сплавы	Серийное и массовое
8	По замораживаемым ртутным моделям	До 0,14	0,5	То же	5-1,25	То же	То же
9	Центробежное	0,01-1,0	5-8	Тело вращения	40-10	Чугун сталь, цветные сплавы	-
10	В кокиль	0,25-7	Из силумина 3,0; из стали 10; из чугуна(без отбела) 15	Зависит от конструкции кокиля	20-2,5	То же	-
11	Под давлением	До 0,1	0,5	То же	5,0-0,63	Сплавы цветных металлов	Крупносерийное и массовое
12	По газифицируемым моделям	До 15	Из стали 6-8	Сложная	10-2,5	Сталь, чугун	Единичное и серийное

Таблица 7 - Характеристика методов обработки заготовок давлением

№	Метод выполнения заготовок	Размер или масса	Толщина стенки, мм	Форма заготовки	Шероховатость поверхности Ra, мкм	Материал	Производство
1	Ковка: на молотах и прессах	До 250 т	3-5	Простая	До 80	Углеродистые и легированные стали, специальные сплавы	Единичное и мелкосерийное
2	На молотах в подкладных кольцах и штампах	10 кг. и более	3-5	Средней сложности	До 80	То же	Мелкосерийное
3	На радиально-ковочных машинах	Диаметр прутка (трубы) до 150 мм	3-5	Ступенчатые тела вращения	До 0,4 (холодная)	-	Серийное
4	Штамповка: на молотах и прессах	До 0,4 т	2,5	Ограничена возможность извлечения заготовки из штампа	80-20	-	Серийное и массовое
5	Штамповка: с последующей калибровкой	Площадь калибруемой поверхности 2,5-80 см ²		Ограничена возможность извлечения заготовки из штампа	10-2,5	Углеродистые и легированные стали, специальные сплавы	Серийное и массовое
6	Высадкой на горизонтально-ковочных машинах	До 0,015т	2,5	Простая	80-20	Стали и цветные сплавы	То же
7	Безоблойная	До 0,015т	-	Простая	80-20	То же	-
8	Выдавливанием	Диаметр до 200 мм	Для алюминиевых сплавов	Простые (преимущественно тела вращения)	80-20	Углеродистые и легированные стали, специальные сплавы	-

Продолжение табл. 7

№	Метод выполнения заготовок	Размер или масса	Толщина стенки, мм	Форма заготовки	Шероховатость поверхности Ra, мкм	Материал	Производство
9	Штамповка: на чеканочных кривошипно-коленных прессах	До 0,1 т	2,5	Средней сложности	80-20	Углеродистые и легированные стали, специальные сплавы	Серийное и массовое
10	Фасонное вальцевание на ковочных вальцах	До 0,05 т	2,5	То же	80-20	То же	То же
11	Прокатка заготовок на поперечно-винтовых и специальных станах	До 0,25 т	2,5	Тела вращения	40-10	Углеродистые и легированные стали, специальные сплавы	Серийное и массовое
12	Холодная высадка на автоматах	Диаметр 1-30 мм	2,5	Тела вращения	5,0-1,25	То же	То же
13	Волочение прутков через специальные профили для последующего изготовления штучных заготовок	Диаметр 1-25 мм	2,5	Фасонные профили	5,0-1,25	-	-

Таблица 8 - Способы правки сортового проката

№	Способ правки	Точность на 1 м длины, мм	Область применения
1	На правильных валках	1-2	Листовой, угловой прокат
2	На гибочных и правильных прессах	1	Листы, прутки, литые и штампованные заготовки
3	На правильно-растяжных машинах	0,5-0,9	Листы, прутки, некруглый прокат
4	На правильно-обрезных станках	0,5-0,7	Прутки, проволока в бухтах
5	На правильно-калибровочных станках	0,5-0,9	Круглый прокат диаметром до 100мм
6	Ручная, на плитах	0,1-2	Простые и цилиндрические заготовки
7	Ацетилено-кислородная	до 0,5	Листы, сварные конструкции

Таблица 9– Способы резки сортового проката

№	Способ резки	Точность резки, мм	R _A , мкм	Область применения
1	Газовая (ацетилено-кислородная, кислородная, плазменно-дуговая)	Ручная $\pm 2-5$ мм машинная $\pm 0,1-1$ мм	50-25	Листовой, профильный прокат заготовки различной конфигурации
2	На приводных ножницах (гильотины)	$\pm 0,12-1,5$	12,5-6,3	Листовой прокат, полосы, прутки
3	Фрикционные диски	$\pm 1,0$	50-25	Прутки, трубы
4	Круглые пилы	0,4-3,0	6,3-3,2	Прутки разного профиля
5	Приводные ножовки	2,0-4,5	12,5-6,3	Круглый профильный прокат
6	Ленточная пила	1,5-3,5	12,5-6,3	Круглый профильный прокат
7	Отрезные резцы	0,3-0,8	1,6-0,8	Круглый прокат трубы
8	Абразивные круги	0,5-1,0	1,6-0,8	Твердые материалы
9	Электрохимический	0,08-0,5	1,6-0,2	Твердые материалы
10	Электроэрозионный	0,08-0,2	6,3-0,2	Круглый прокат

6.2 Методы обработки заготовок

Для превращения заготовки в готовую деталь могут применяться методы механической обработки, а также специальные методы электрофизической и электрохимической обработки.

С точки зрения точности обработки и шероховатости поверхности различают: черновую, чистовую и отделочную обработку.

6.2.1 Обработка резанием

Точение (обтачивание) - реализуется на обычных токарных станках, станках с программным управлением, с копировальным устройством, токарных многолезцовых станках.

Применяется наиболее часто как черновая обработка наружных поверхностей тел вращения, при этом R_a может быть менее 10 мкм. Точение (обтачивание) может применяться и как чистовая обработка R_a менее 1,25 мкм, взамен шлифования. При этом скорости резания наивысшие, глубины резания малые 0,05-0,5 мм, подачи малые 0,05-0,15 мм. Применяются резцы из алмаза, VN (эльбора), композита 07.

Растачивание - реализуется на токарных станках, агрегатных и координатно-расточных станках (КРС).

Растачивание резцом на токарном станке является универсальным и широко применяемым методом обработки поверхностей различных отверстий. Возможности растачивания такие же, как и при точении.

Точность расстояний между осями и положение отверстий относительно баз обеспечивается разметкой, точность $\pm 0,3$ мм $\pm 0,1$ мм (но редко), с применением кондукторов (точность $\pm 0,02$ мм), а также обработкой координатным методом на горизонтально-расточных станках с точностью до $\pm 0,002$ мм и даже 0,001 мм.

Фрезерование - реализуется на горизонтально - и вертикально - фрезерных станках, копировально-фрезерных станках.

Различают: цилиндрическое и торцевое фрезерование. При обработке плоских поверхностей фрезерование более производительнее, чем строгание.

Различают: черновое фрезерование, например отливок, поковок. В результате получают $R_a=50-12,5$ мкм. Чистовое фрезерование, как окончательная обработка $R_a=10-1,25$ мкм и тонкое фрезерование, когда припуск 0,2-0,5 мм $R_a= 2,5-0,9$ мкм. С увеличением скорости резания, R_a уменьшается в 1,5-2 раза. Принцип улучшения качества поверхности и увеличения точности изготовления тот же, что и при точении.

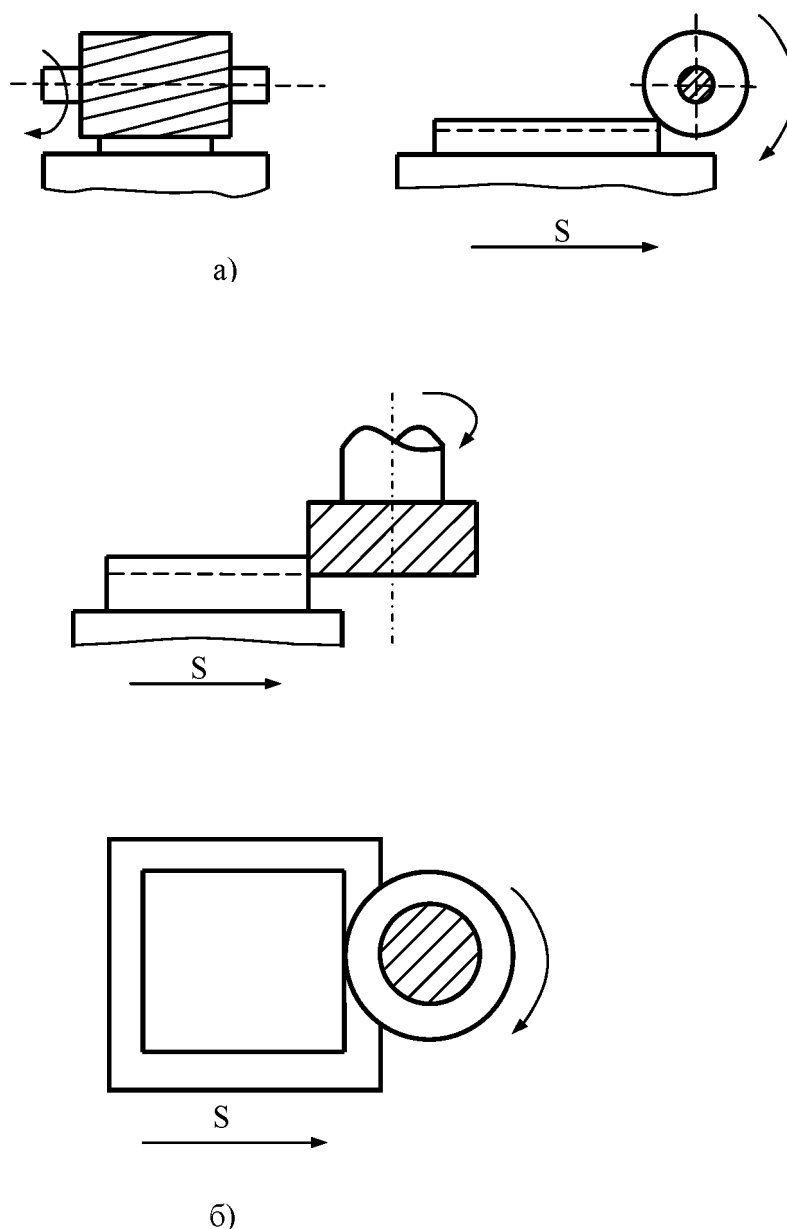


Рис. 31 Схема фрезерования: а) цилиндрическое; б) торцевое

Строгание, долбление - реализуется на продольно-строгальных и поперечно-строгальных станках, долбежных станках. Для обработки узких и длинных деталей применяются продольно-строгальные станки, для малогабаритных деталей – поперечно-строгальные станки. При строгании выполняется обработка горизонтальных, вертикальных и наклонных поверхностей, прорезывание канавок различного типа. Например, Т-образных пазов на плитах прессов, пазов типа ласточкина хвоста и др. В связи с тем, что обработка ведется в одну сторону, и, хотя скорость в обратном направлении больше чем скорость рабочей в 2-3 раза, потери во времени делают строгание менее производительным, чем фрезерование, R_a при строгании $\angle 20\text{мкм}$.

Обработка внутренних линейных поверхностей, например, прорезывание во втулках шпоночных канавок, обработка глухих многогранных отверстий, а так же обработка наружных, ограниченного хода в упор фасонных отверстий производится на долбежных станках. Процесс долбления малопроизводителен, применяется в единичном производстве. Он также прерывистый, как и строгание.

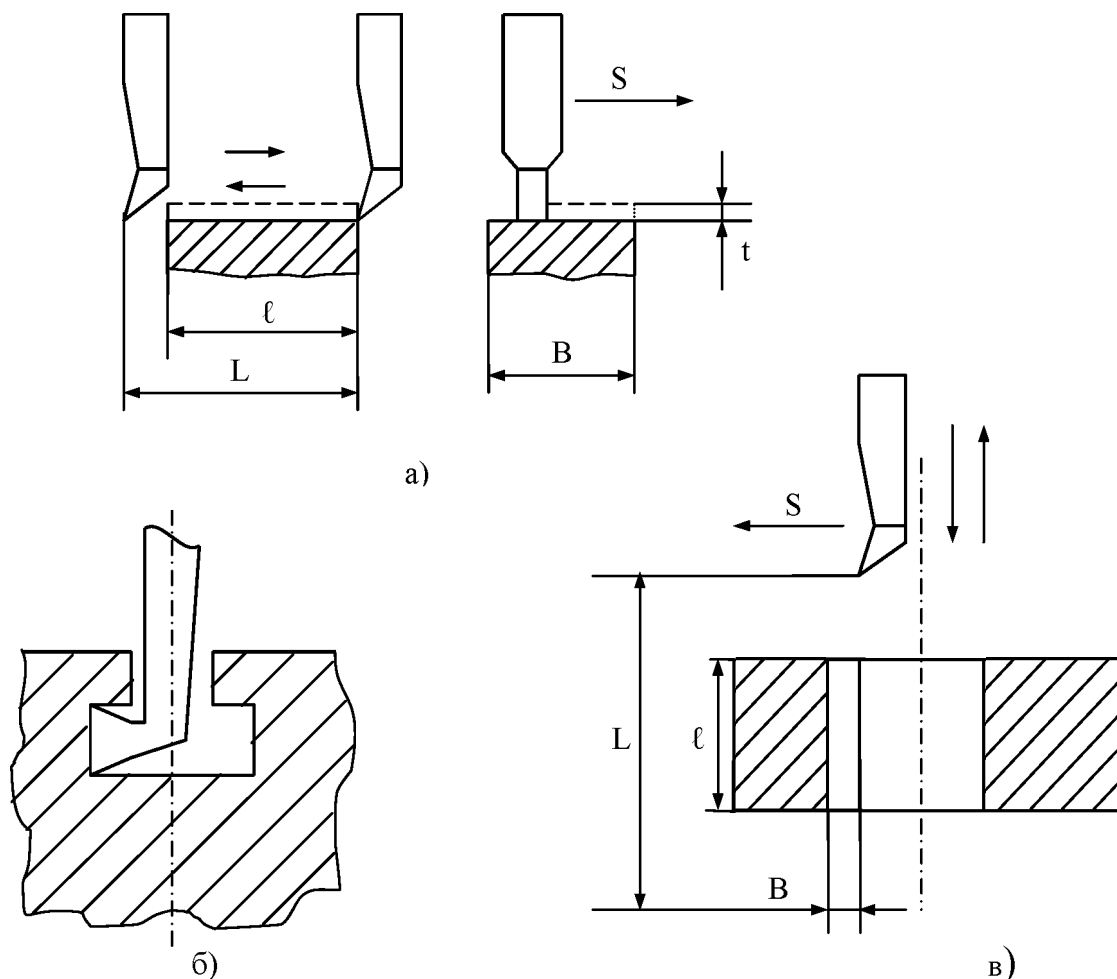


Рис.32 Схема строгания: а) строгание плоскости; б) строгание паза; в) долбление шпоночной канавки.

Сверление – реализуется на вертикально-сверлильных, радиально-сверлильных, токарных станках и КРС.

Спиральными сверлами сверлят отверстия диаметром до 80мм, при этом обеспечивается $R_a = 25-2,5\text{мкм}$. Сверление используется как предварительная обработка точных отверстий, так и окончательная, например, под болты и заклепки. При диаметре отверстия более 30 мм сверлят отверстие малого диаметра ($\frac{1}{3}$ заданного), а затем производят окончательное рассверливание. Положение оси отверстия обеспечивается сверлением по разметке, кондуктору и на КРС.

Зенкерование – реализуется на сверлильных, токарно-расточных, револьверных КРС и др.

Зенкер имеет не 2, а 3 и более режущих зуба, что позволяет обеспечивать более равномерное и сбалансированное резание. Зенкеруют отверстия диаметром до 120 мм. Зенкерование разделяют на черновое (обработка литых или прошитых отверстий) и чистовое (обработка предварительно просверленных отверстий). Кроме этого зенкерование применяют для обработки фасок в отверстиях под головки заклепок, винтов, болтов и гаек.

Зенкерование увеличивает точность формы исходного отверстия, уменьшает смещение его оси, уменьшает шероховатость. При черновом $R_a=25-12,5\text{мкм}$, при чистовом $R_a=12,5-6,3\text{мкм}$.

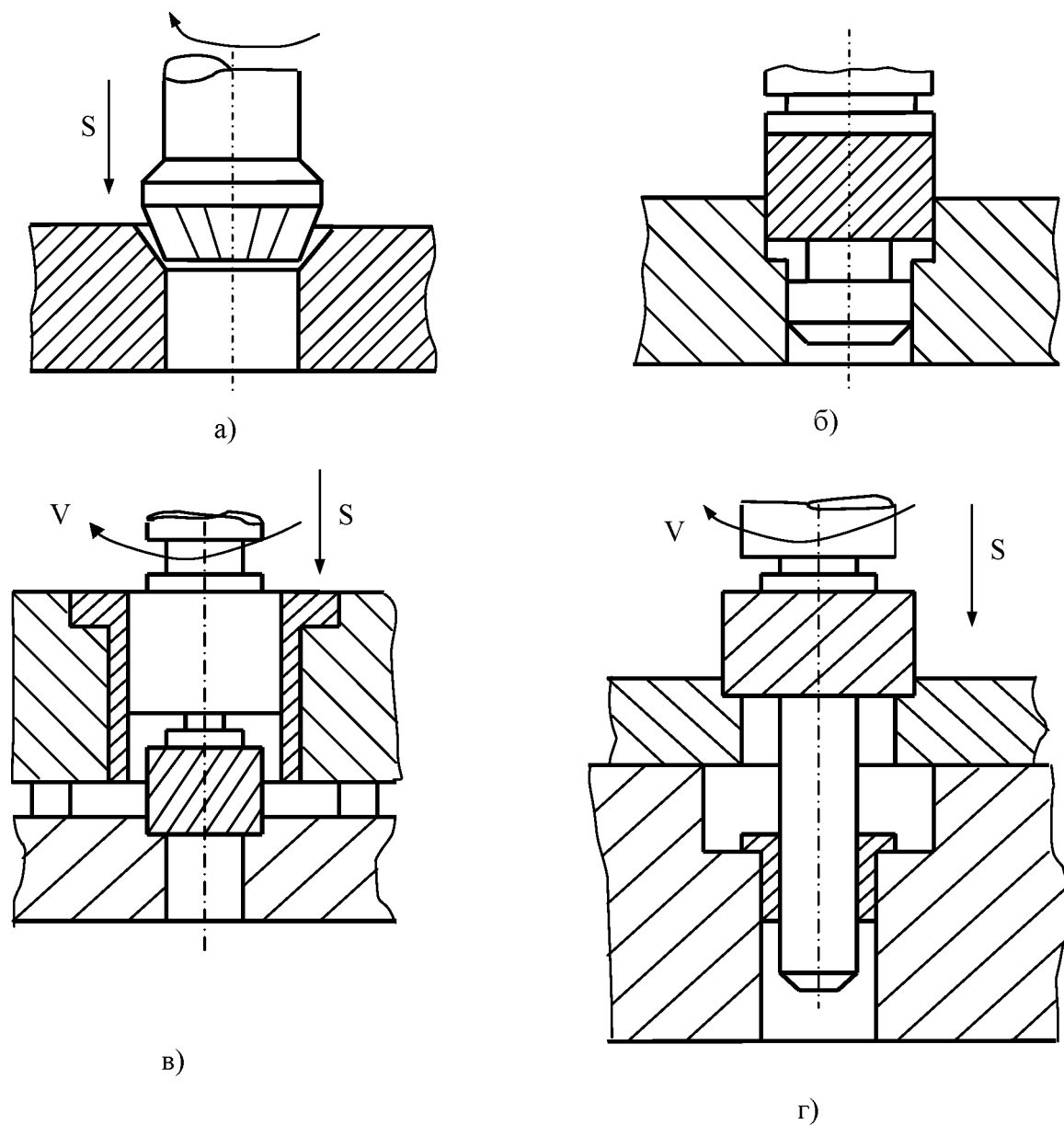


Рис. 33 Схема зенкерования отверстий: а) обработка фасок в отверстиях под конус-зенковка; б) обработка фасок в отверстиях под цилиндр – цековка; в) верхнее заднее направление зенкера в кондукторной втулке; г) нижнее переднее направление зенкеров в кондукторной втулке.

При диаметре отверстия более 25мм с целью повышение жёсткости рекомендуется закреплять зенкер и сверху и снизу.

Развертывание – реализуется на машинных развертках или вручную.

Основной способ обработки отверстий в материале с $HRC_{\Sigma} \leq 40$ с шероховатостью $R_a=2,5 - 0,15\text{мкм}$. Развертыванию предшествует сверление, зенкерование или растачивание. Ручным обрабатывают отверстия диаметром до 50 мм, машинным до 300 мм. Развертки рассчитаны для снятия малого припуска. Они отличаются от зенкеров большим числом зубьев, меньшими углами. Развертывание не уменьшает смещение отверстия, а только увеличивает точность и уменьшает шероховатость. Необходимым условием достижения высокой точности обработки является: равномерность величины припуска и строгое совмещение оси развертки с осью обрабатываемого отверстия. Развертка должна свободно устанавливаться по отверстию и иметь точное направление. Иногда развертку направляют как зенкер кондукторами (сверху, снизу и комбинированно). Иногда отверстие развертывают двумя развертками.

Протягивание – реализуется на горизонтальных и вертикально-протяжных станках с тяговой силой от 0,1кН до 1кН, $V_{\text{резания}}=3 \dots 5\text{м/мин}$.

Обрабатывают сквозные отверстия, пазы, плоские криволинейные поверхности, а также наружные поверхности вращения. Протягивания – производительный процесс, т.к. он заменяет комплект инструментов, например, зенкер или расточной резец и развертку; черновую и чистовую фрезы. Протягивание отверстий производят после сверления $R_a=1.25-0,63\text{мкм}$.

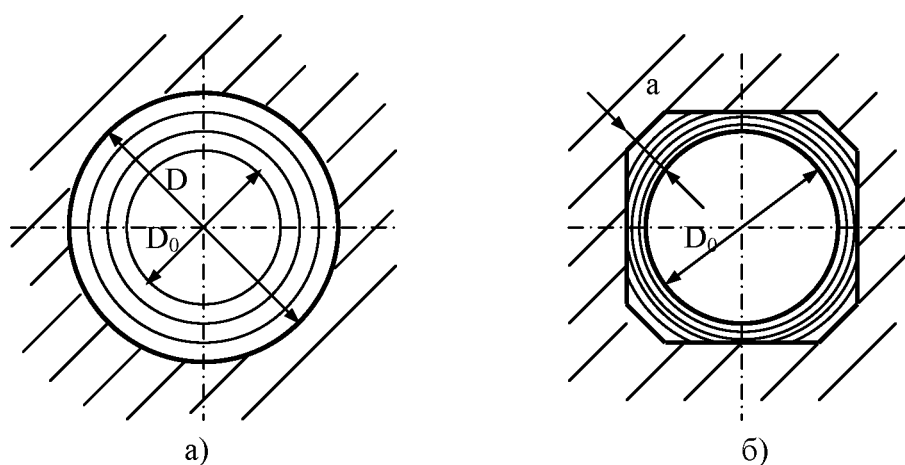


Рис. 34 Схема протягивания.

а) форма режущих кромок протяжки соответствует профилю обрабатываемой поверхности. Зубья протяжки срезают заданный припуск последовательно. При этом окончательная форма и размеры образуются последним зубом.

б) форма режущих зубьев не соответствует профилю обрабатываемых поверхностей. Например, здесь зубья имеют форму дуг окружностей.

Шлифование – реализуется на плоскошлифовальных и круглошлифовальных станках.

Применяется как для обработки отверстий, так и наружных поверхностей.

Внутреннее шлифование - один из основных способов обработки отверстий $R_a=1,25-0,15\text{мкм}$. Шлифуют цилиндрические, конические, сквозные, глухие отверстия. Кроме высокой точности, достоинство внутреннего шлифования - исправление направления оси отверстия. Обрабатываются отверстия диаметром до 5мм.

Существует два основных способа шлифования наружных поверхностей: периферией и торцом шлифовального круга. Кроме этого есть шлифование с продольной и поперечной подачей.

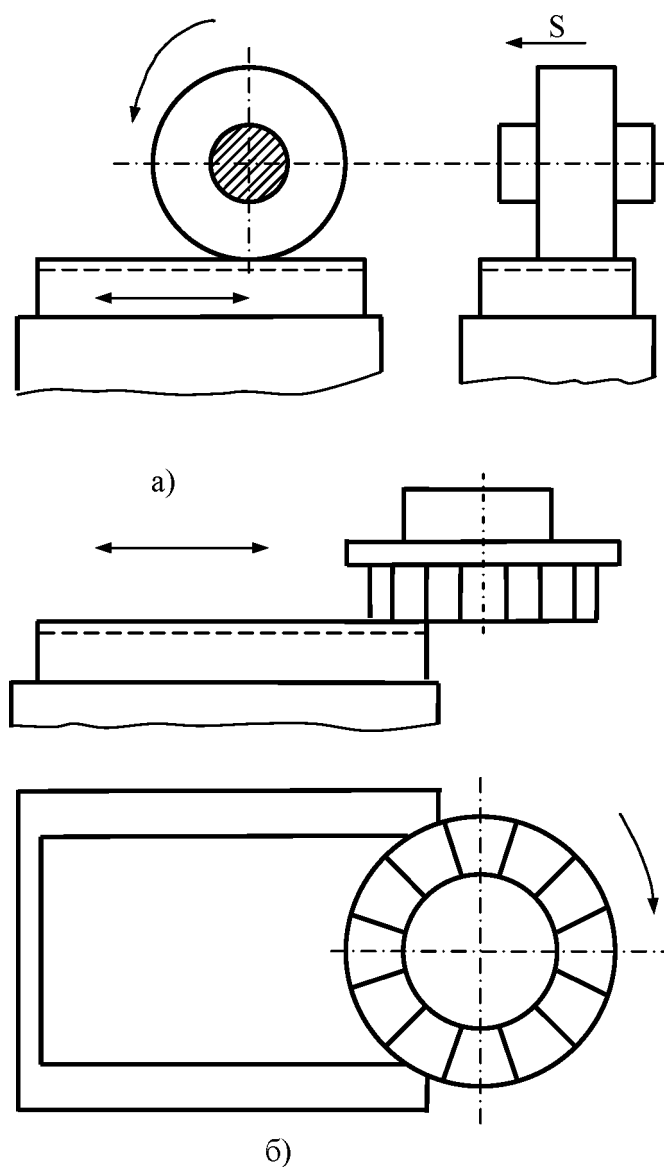


Рис. 35 Схема шлифования: а) периферийное; б) торцевое.

Продолжение табл.10

	Классы шероховатости	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Точность, качества (классы)	
		R_a в мкм \leq	20	10	5	2,5	1,25	0,63	0,32	0,16	0,08		0,04
		R_z в мкм \leq	80	40	20	10	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4		0,2
Обточивание	Черновое	-	-									12-13(5)	
	Чистовое			-	-	-						9-11(3-4)	
Полуобточивание	Тонкое					-	-	-				6-7(2)	
Фрезерование	Цилин- дрическое	Черновое	-	-								12-14 (5-7)	
		Чистовое			-	-						10-11 (3а-4)	
		Тонкое					-					7-9 (2а-3)	
	Торцовое	Черновое	-	-								12-14 (5-7)	
		Чистовое			-	-	-					9-11 (3-4)	
		Тонкое						-	-			6-7 (2)	
Развертывание	Предвар.			-	-							9 (3)	
	Чистовое				-	-	-					6-8 (2-2а)	
	Тонкое							-	-			6-7 (2)	
Протягивание					-	-					6-9 (2-3)		
Круглое шлифование	Чистовое					-	-	-				6-9 (2-3)	
	Тонкое							-	-	-		4-7 (1-2)	
Плоское шлифование	Чистовое				-	-	-					6-9 (2-3)	
	Тонкое							-	-			6-7 (2)	
Полирование	Обычное				-	-	-	-					
	Тонкое							-	-	-			
Хонингование								-	-	-	-	5-7 (1-2)	
Притирка	Чистовая							-	-			6-7 (1-2)	
	Отделочная									-	-	4-6 (1 и выше)	
Суперфиниши- рование	Чистовое							-	-			6-7 (1-2)	
	Тонкое									-	-	4-5 (1 и выше)	

6.2.2 Специальные методы обработки

Электроискровой метод

Изучая пути уменьшения разрушающего действия электрической эрозии, советские ученые Б. Р. Лазаренко и Н. И. Лазаренко в 1943 году предложили применять этот процесс с полезной целью – для размерной обработки деталей. За открытие электроэрозионного способа обработки супруги Лазаренко были удостоены Государственной премии СССР.

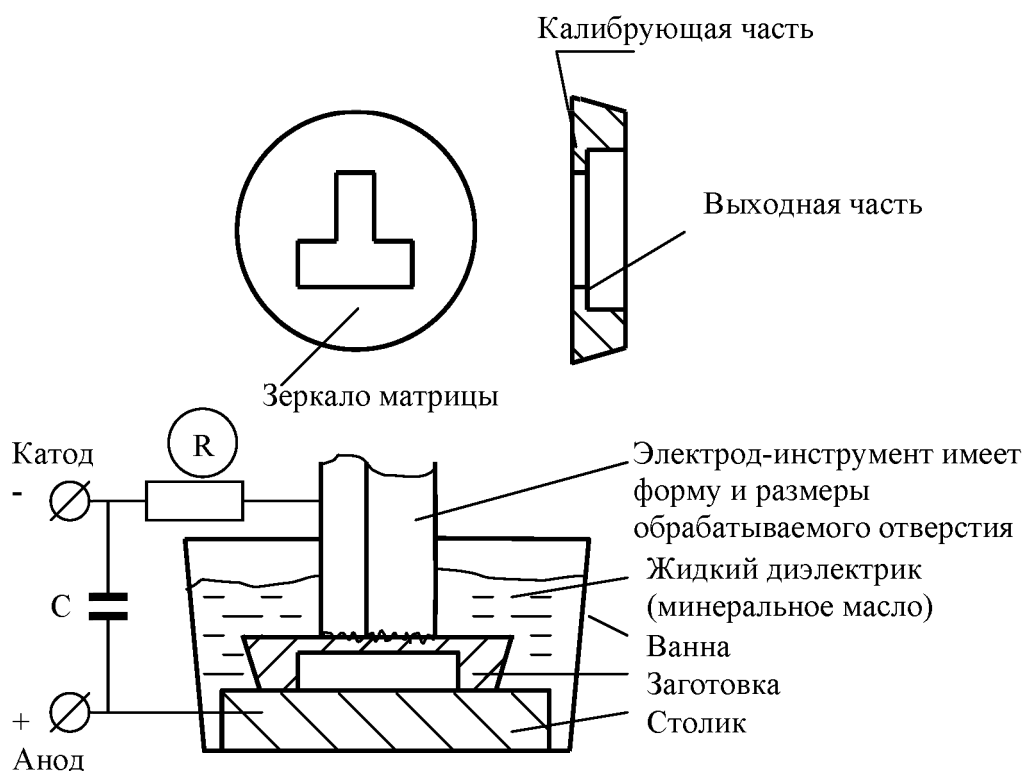


Рис. 36 Схема электроискровой обработки.

Конденсатор C заряжается от источника постоянного тока. Разрядка конденсатора происходит в зазоре между электрод-инструментом и заготовкой. В результате разряда происходит разрушение металла матрицы путем постоянного плавления и частичного испарения металла. Под действием ударной волны расплавленный металл выбрасывается в межэлектродное пространство, где и застывает в среде диэлектрика. Длительность разряда 10^{-4} - 10^{-7} сек. Температура поверхностных слоев 10000°C , $R_a=2,5$ - $0,63$ мкм, точность $0,02$ - $0,20$ мм, удельный расход электроэнергии 15 - 70 кВт час/кг.

Причины сдерживающие развитие электроискрового метода:

1. Форма электрода должна соответствовать форме наружного контура детали, а изготовление электрода сложной конфигурации трудоемко.

2. Электрод должен изготавливаться точнее обрабатываемой детали.
3. Быстрый износ электрода.

Физика процесса обработки такова:

Поверхность анода нагревается в результате бомбардировки ее электронами в процессе разряда, а поверхность катода – положительными ионами. В начальной стадии разряд обусловлен электронами и ионами рабочей жидкости, даже ионами и электронами материалов электродов.

При действии коротких $10^{-7} \dots 10^{-4}$ с мощных импульсов преобладает процесс испарения материалов электродов. Энергия разряда передается на анод главным образом электронами с катода, которые образуются за счет термо- и автоэлектронной эмиссии. Более тяжелые ионы не успевают приобрести необходимую энергию, следовательно больший разогрев, больший съем металла наблюдается на аноде, в качестве которого и используют деталь. То есть обработка ведется за счет бомбардировки анода электронами с катода. Такую полярность включения называют прямой: анод \oplus - обрабатываемая заготовка, катод \ominus - инструмент.

С увеличением длительности импульсов до $10^{-1} \dots 10^{-3}$ с большую роль в распределении энергии разряда между электродами начинают играть положительные ионы. Они успевают разогнаться в течение длительного разряда, при этом энергия отдаваемая положительными ионами катоду увеличивается, что съем металла (оплавление) с катода становится больше чем с анода. В этом случае более целесообразно выбирать заготовкой катод. Такая полярность включения электродов обратная анод \oplus - инструмент, катод \ominus - заготовка. Поскольку ионы более тяжелые и переносят больше энергии, то интенсивность обработки по этой схеме выше. Такой метод обработки реализован в электроимпульсном методе.

Электроимпульсный метод

Полярность изменена на обратную. Съем металла в основном в жидко-капельном состоянии. Температура на поверхности снижена до 3000-4000 °С. Производительность в 30 раз выше, чем у электроискрового метода, $R_z=200 \dots 500$ мкм, точность 0,1-0,5 мм. Удельный расход электроэнергии 8-25 кВт час/кг.

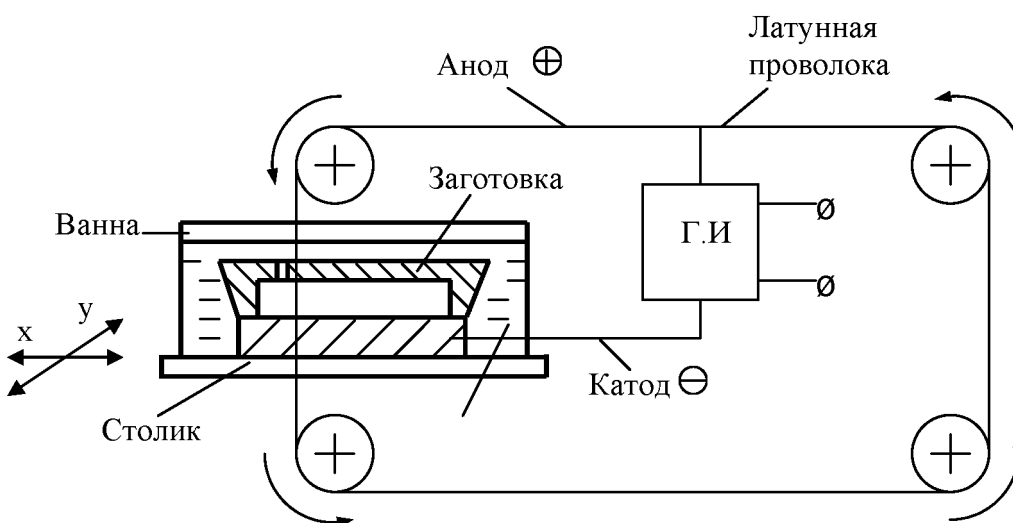


Рис. 37 Схема электроимпульсной обработки

Область применения:

Формообразование полостей ковочных штампов, пресс-форм, при пошивке пазов, отверстий малого сечения, фасонных отверстий, карманов. Электроэрозионной обработкой клеймят детали, проводят фасонную вырезку, извлекают из отверстия сломанные сверла, метчики, упрочняют поверхностей деталей.

Ультразвуковой метод

На инструмент подают ультразвуковые колебания и одновременно в зону обработки подают суспензию с абразивными частицами (карбид бора, карбид кремния). За счет колебаний абразивных частиц происходит выкалывание частиц металла заготовки.

Область применения: хрупкие металлы.

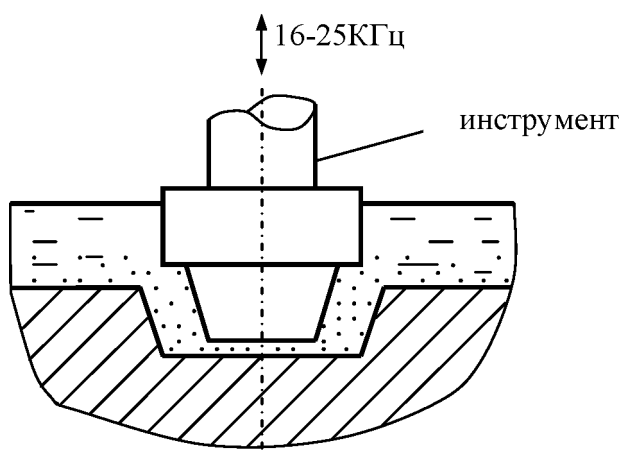


Рис. 38 Схема ультразвуковой обработки металлов

Электрохимический метод

Метод основан на явлении анодного растворения, благодаря которому на инструменте воспроизводится форма профиля катода-инструмента. Удаление продуктов растворения производится при движении электролита. Метод отличается высокой производительностью.

Область применения: гравюры штампов, матрицы.

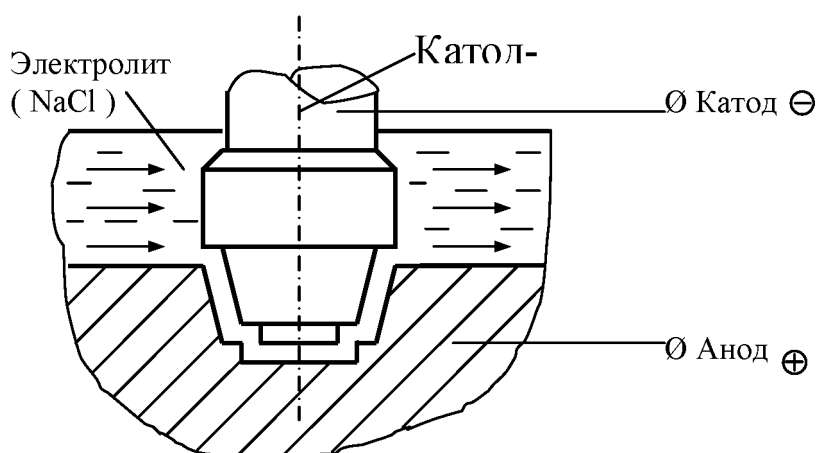


Рис. 39 Схема электрохимического метода

7. Обработка типовых деталей кузнечно-штамповочного оборудования (КШО)

7.1 Особенности кузнечно-штамповочного машиностроения

Оборудование кузнечно-штамповочных цехов многообразно, что связано с широким сортаментом выпускаемой продукции. Ковочно-штамповочные машины подразделяются на молоты, прессы и специализированные машины.

Молоты - предназначены для деформации металла ударом. Они делятся на ковочные – для свободнойковки и штамповочные – для штамповки. В зависимости от типа привода молоты подразделяются на:

- Паровоздушные;
- Пневматические;
- Механические (фрикционные, кривошипные, рессорные);
- Электрические;
- Газовые (использование давления газов, образующихся при сгорании топлива);
- Гидравлические.

Прессы – деформируют металл давлением. Прессы бывают ковочные и штамповочные. По роду привода они подразделяются на гидравлические, парогидравлические и механические (кривошипные, эксцентриковые, фрикционные).

Ковочные машины – горизонтальные и вертикальные используются для горячей штамповки, холодной высадки и резки металла.

Ротационно-ковочные машины – предназначены для уменьшения сечения заготовки, например обработка валов, заострения (заковка).

Ковочные вальцы – работают по принципу прокатных станков.

Особенности кузнечно-штамповочного машиностроения:

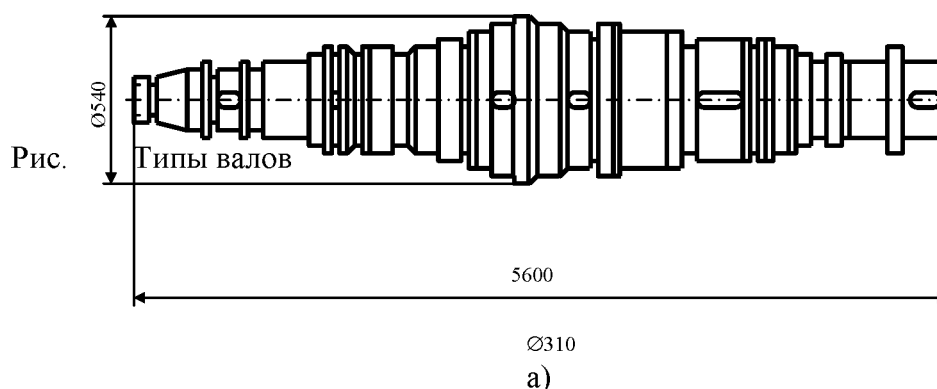
Многообразие выпускаемых машин.

Наличие нескольких видов производства: мелкие и средние машины выпускаются большими партиями, а крупные машины в единичном количестве.

Обработка деталей больших размеров и веса, до десятков тонн.

7.2 Обработка тяжелых валов и колонн

Тяжелые валы конструктивно разделяются на многоступенчатые (а) (см. рис.40), валы полые или имеющие центральные глубокие отверстия (б), валы с коническими поверхностями и резьбой (в), валы фланцевые (б, г), валы-шестерни (д) и коленчатые валы (будут рассмотрены далее).



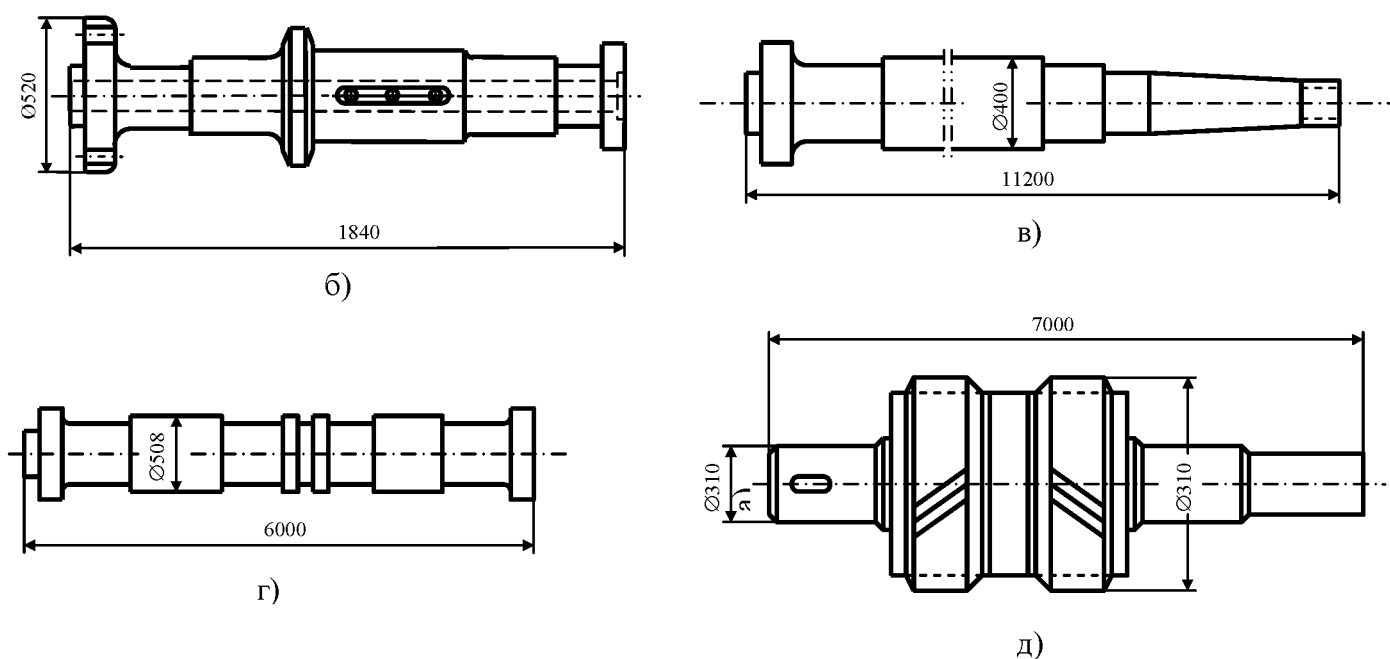
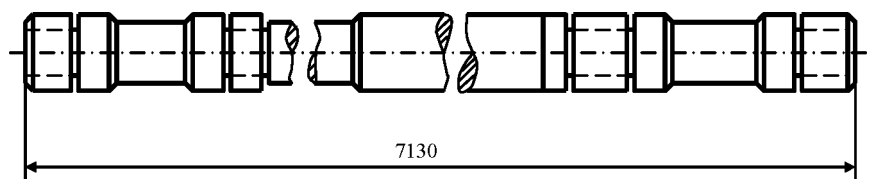


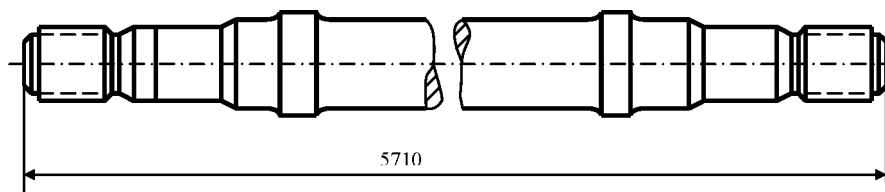
Рис.40 Типы валов: а) многоступенчатые; б) валы полые или имеющие центральные глубокие отверстия; в) валы с коническими поверхностями и резьбой; г) валы фланцевые; д) валы шестерни.

Тяжелые валы в большинстве случаев изготавливаются из углеродистых сталей. Особо ответственные валы изготавливаются из легированных сталей.

Одной из разновидностей валов являются колонны гидравлических прессов (рис.41). Они служат для жесткого соединения верхней траверсы и станины (нижней траверсы) в единую жесткую систему – раму. Жесткое соединение станины с колоннами осуществляется с помощью гаек, для чего на концах колонны имеется резьба.



а)



б)

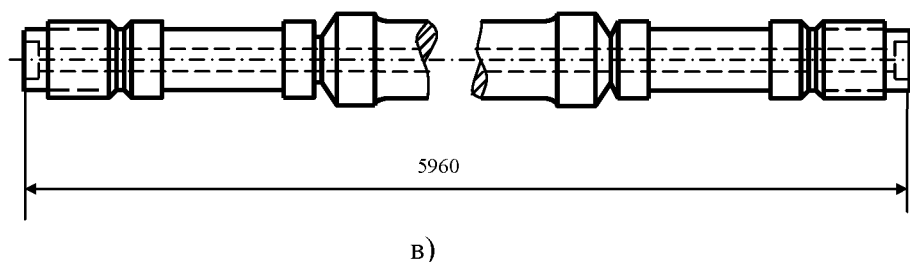


Рис.41 Типы колонн: а) колонны без буртов; б) колонны с буртами; в) колонны с конусами.

В зависимости от способа крепления колонны (рис.41) делятся на:

колонны без буртов рис.41,а для их крепления применяются гайки и контргайки; колонны с буртами рис.41,б (на которые опирается верхняя и нижняя траверсы); колонны с конусами рис.41,в (которые служат для центрирования верхней и нижней траверсы).

В качестве материала для колонн используют углеродистую сталь 35 или 45.

При изготовлении тяжелых валов и колонн посадочные шейки обрабатываются по 6-9 квалитету с $R_a = 2,5-0,63$ мкм, поверхности, служащие для направления подвижной траверсы при ее перемещении, выполняются по 8-9 квалитету точности с R_a меньше 0,63 мкм, остальные по 6 квалитету точности с R_a меньше 10 мкм. Связь поверхностей по точности расположения.

Валы изготавливаются из круглой прокатной стали (максимальный диаметр вала 200мм и менее), а также из поковки. Припуски на мехобработку крупных валов из поволоков назначают в зависимости от достижимой точности кузнечно-прессового оборудования (от 20 до 50 мм). Если валы после обдирки подвергаются термообработке, то припуск увеличивают еще на 5-30 мм. При ковке с обеих сторон оставляют припуск не менее 100мм для изготовления образцов на мехиспытания и на выявление трещин.

Таблица 11 - **Типовой технологический маршрут обработки колонн представлен в виде таблицы**

	Содержание операции	Оборудование
1	Отрезка припусков по торцам	Круглая пила
2	Проверка заготовки и разметка центральных гнезд	Разметочная плита
3	Центрирование с одной стороны	Горизонтально-расточной станок
4	Черновое обтачивание и отрезание торца	Крупные токарные станки высокой жесткости
5	Обработка глубоких отверстий с установкой в люнете	Станки для глубокого сверления
6	Центрирование с двух сторон с переустановкой заготовки	Токарные станки
7	Чистовое обтачивание с двух установок	Токарные станки
8	Шлифование центрирующих и направляющих шеек	Кругошлифовальные станки
9	Нарезание резьбы	Токарно-винторезные станки
10	Подрезание торцов у буртиков в один размер у четырех колонн.	Токарные станки
11	Чистовое обтачивание центрирующих конусов	Токарные станки
12	Обработка прочих поверхностей	Горизонтально-расточные станки
13	Слесарная заправка резьбы	
14	Контроль	Измерительные инструменты и приспособления

Для колонн изображенных на рис.41,а технологический маршрут заканчивается операцией №9. Операции 10,11 выполняются для колонн изображенных на рис.41,б,в.

Разметка

Поковки, применяемые для изготовления колонн и крупных валов, имеют неравномерное распределение припуска, как по диаметру, так и по длине. Мехобработка таких заготовок без разметки затруднительна, и может привести к браку - останутся черновины.

При разметке определяется кривизна заготовки, и наносятся риски для центровых отверстий с обеспечением равномерного припуска. Существует несколько способов разметки. Один из них – по струнам см. (рис.42).

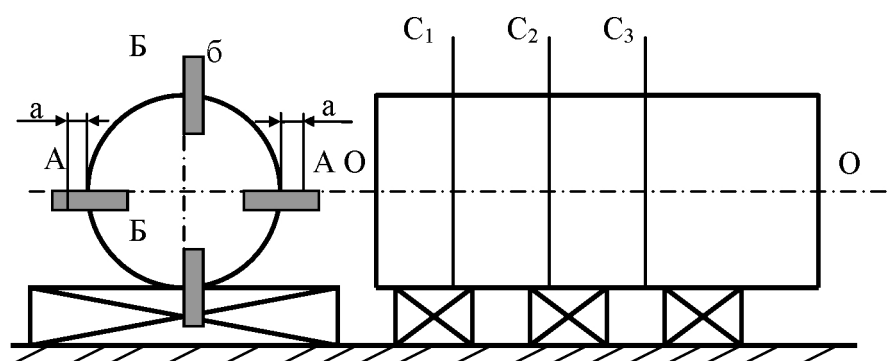


Рис. 42 Схема разметки колонны под центрирование

В этом случае заготовку устанавливают на подкладки, на торцах находят центры, через которые проводят горизонтальные А-А и вертикальные Б-Б риски. К торцам вдоль рисок А-А приваривают уголки, через которые перебрасывают струны, строго параллельные между собой. По длине заготовки через каждые 700-1000мм, наносятся поперечные риски С₁, С₂, С₃ и в этих сечениях делают замеры (расстояния «а») от струн до контура заготовки. Затем заготовку поворачивают на 90° по оси Б-Б приваривают уголок и повторяют замеры расстояния «б». По размерам «а» и «б» судят о кривизне заготовок. В итоге, цель – получить черновую заготовку без черновин с равномерным припуском.

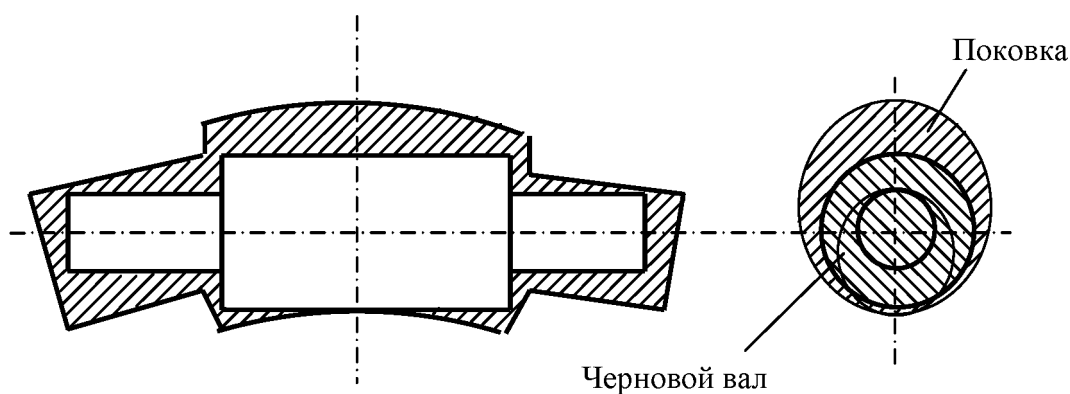


Рис.43 Распределение припусков у заготовки

Черновое обтачивание

В принципе токарная обработка может осуществляться на размер, если нет термообработки, нет особых требований на точность или станки не разделены для грубых или чистовых работ.

Нежесткие колонны и валы при обработке устанавливаются в центрах станка. Крутящий момент передается заготовке через поводок. Обработка производится с помощью люнетов, которые устанавливаются, так чтобы расстояние между ними не превышало 12-14 диаметров см. (рис.44).

Полужесткие колонны обрабатываются также с применением люнетов, но количество их меньше. Например, заготовка с надетой на нее люнетной втулкой устанавливается в центрах станка и закрепляется в патроне, под кулачки которого помещаются стальные шары $\text{Ø}25\text{-}30$ мм. При закреплении детали шары вдавливаются в поверхность заготовки на различную глубину в зависимости от усилия зажима. Это предотвращает прогиб, опускание вала и не нарушает центрирования. Люнетную втулку устанавливают на середину заготовки, выверяют по индикатору и подводят под нее люнет.

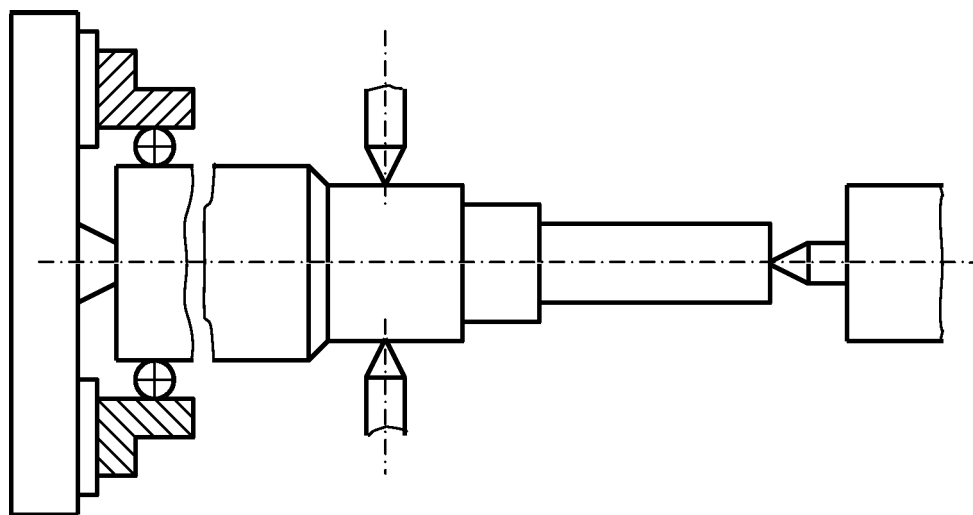


Рис.44 Схема обтачивания заготовки для полужесткой колонны

После этого, рядом с втулкой протачивают на заготовке шейку под люнет. Затем люнет переустанавливают на проточенную шейку и начинают обработку. Глубина шейки должна соответствовать размеру с припуском под чистовую обработку. Люнетную втулку после этого необходимо снять.

Чистовое обтачивание

Осуществляется на люнетах, как с малыми, так и с большими скоростями. Это зависит от инструмента. Если материал резца P18, то скорости обработки и подачи малые, если резец из твердого сплава - то большие. Съем металла в обоих случаях небольшой.

Шлифование

Производится в центрах, на люнетах, шейки под которые шлифуются заранее. Используются универсальные круглошлифовальные станки. Обработка разбивается на черновую и чистовую.

Контроль

В процессе изготовления валы и колонны проходят контроль после каждой операции. Контролируется геометрия, твердость (после термообработки). Поковка обязательно проверяется на ударную вязкость, относительное удлинение, прочность на разрыв.

7.3 Обработка коленчатых валов

Коленчатые валы применяются в механических прессах, в ГКМ, в пневматических молотах, а также в поршневых насосах. Коленчатые валы относятся к классу эксцентриковых валов. Они подразделяются на одно-, двух- и трехколенчатые. Коленчатые валы изготавливают из стали марок 35, 40, 45, 50, 35Г2, 45Г2. Коренные и шатунные шейки должны обладать достаточной износостойкостью, для этого, их подвергают поверхностной закалке на глубину 3-5мм до HRC_э 48-58. Сильно нагруженные валы изготавливаются из сталей 40ХН, 30ХМА, с соответствующей упрочняющей термообработкой.

После мехобработки коленчатые валы должны удовлетворять следующим техническим условиям:

1. Оси коренных и шатунных шеек должны иметь параллельность между собой с соотношениями в пределах 0,1 мм на 1 м длины.

2. Точность исполнения размеров коренных и шатунных шеек должна находится в пределах 6-9 квалитетов, эллипсность и конусность их не должна превышать 0.02 –0.05 мм.

3. Точность разворота колен в пределах 15'.

4. Допуски на несопрягаемые диаметральные размеры выполняются по 12/13 квалитету, а на линейные по 14 квалитету точности.

5. Шатунные и коренные шейки и их галтели должны иметь шероховатость Ra=0,32мкм для диаметров до 80 мм и Ra=0,63 мкм для диаметров свыше 80 мм.

6. Быстроходные валы должны быть динамически уравновешены.

Поковки перед мехобработкой подвергаются нормализации.

Заготовки валов бывают или круглые, из проката, или кованые.

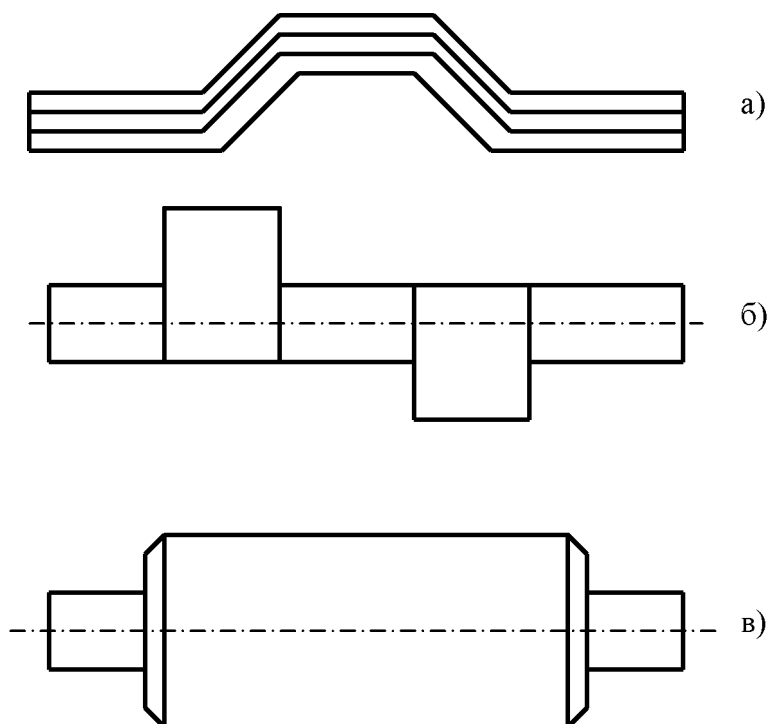


Рис.45 Разновидности заготовок для коленчатых валов

Типовой технологический маршрут механической обработки коленчатого вала представлен в таблице 12.

Таблица 12- Типовой технологический маршрут механической обработки коленчатого вала (трехколенчатого)

№	Содержание операции	Оборудование
1	Разметка.	Разметочная плита.
2	Центрирование.	Горизонтально-расточной станок.
3	Сверление по контуру шатунной шейки.	Радиально-сверлильный станок.
4	Прорезка шатунных шеек.	Дисковая пила.
5	Черновая обработка коренных шеек.	Токарный станок.
6	Черновая обработка шатунных шеек.	Токарный станок или спецстанок.
7	Термообработка (улучшение).	Горизонтально-расточной или токарный станок.
8	Подрезка торцов и исправление центров с установкой в люнете.	Токарный станок.
9	Чистовая обработка коренных шеек под шлифование.	Токарный станок или спецстанок.
10	Чистовая обработка шатунных шеек под шлифование.	Вертикально-фрезерный или продольно-фрезерный станок.
11	Фрезерование плоскостей шеек.	Вертикально-фрезерный или продольно-фрезерный станок.
12	Фрезерование шпоночных пазов.	
13	Обработка остальных поверхностей: сверление смазочных отверстий, нарезание резьбы.	Радиально-сверлильный станок или горизонтально-расточной станок.
14	Термообработка (поверхностная закалка коренных и шатунных шеек).	Установка Т.В.Ч.
15	Шлифование коренных шеек.	Круго-шлифовальный станок.
16	Шлифование шатунных шеек.	Круго-шлифовальный станок.
17	Динамическая балансировка.	Балансировочный станок.
18	Контроль.	

Разметка и центрирование проводится как у валов. Если у валов не прокованы шатунные шейки рис. 45 б, в, то предварительная вырезка колен производится сверлением с последующей вырезкой пилой (см. рис. 46).

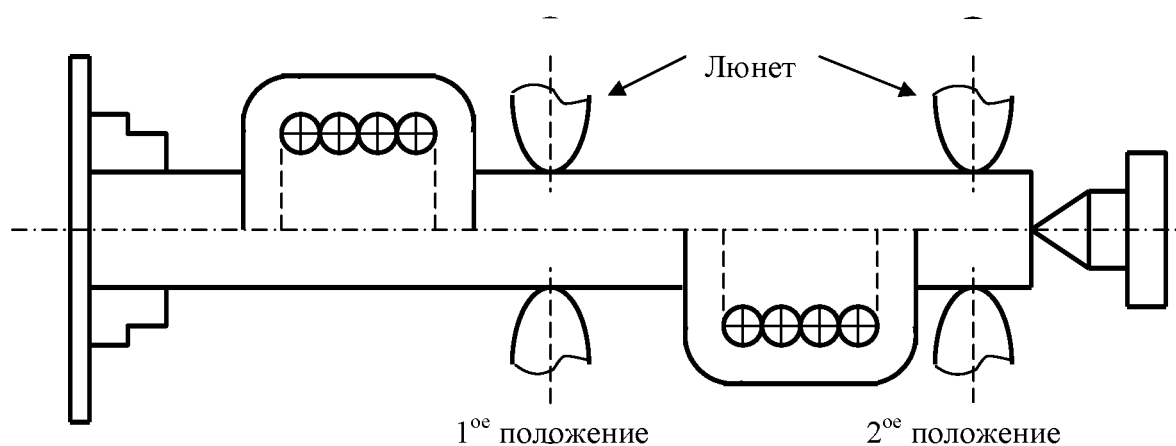


Рис. 46 Вырезка шатунной шейки

Черновая обработка коренных шеек производится следующим образом. Вал закрепляется одним концом в четырехкулачковом патроне, а задний торец - подпирается центром. Вначале протачивается шейка под люнет (см. рис.46). После установки люнета производится обработка всех диаметров вала до кулачков патрона. После этого вал переустанавливают обработанным концом в патрон, а необработанным – в люнет. После чего подрезают торец, зацентрируют вал и обрабатывают конец вала, ранее зажатый в патроне.

Установка вала для чернового обтачивания шатунных шеек более сложна. Она выполняется либо на спецстанках, либо на обточных токарных станках с применением **центросместителей**. При обработке шатунных шеек вал нужно установить таким образом, чтобы ось шатунной шейки совпадала с осью центра станка. Для обеспечения плавной обточки необходимо статически сбалансировать установку, т.к. центр тяжести будет смещен и, следовательно, нужен противовес. Все это делает центросместительная шайба (см. рис.47).

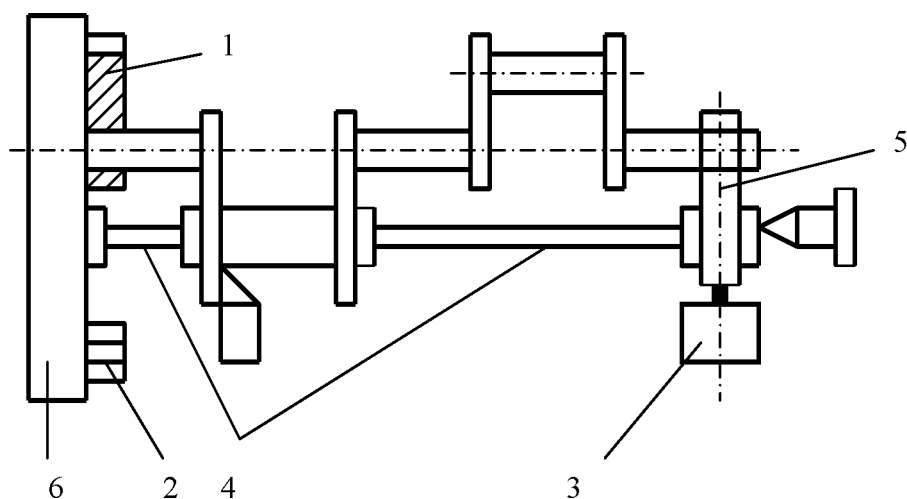


Рис. 47 Обработка коленчатого вала с помощью центросместительных шайб:

1. Центросместительная шайба;
2. Балансирующий груз на планшайбе 6;
3. Балансирующий груз;
4. Распорки;
5. Задняя центросместительная шайба.

Затем черновой вал подвергается термической обработке для снятия внутренних напряжений и улучшения мехсвойств. После термообработки производится исправление центровых отверстий, подрезка торцов и чистовая обработка коренных и шатунных шеек. Характер установки и последовательность действий те же, что и при черновой обработке. После изготовления некоторые валы подвергаются динамической балансировке, если скорость их вращения в работе велика. Она производится на балансировочных станках. При этом определяется: величина контргруза, снижающего дисбаланс; место расположения его на оси вала; его угловое положение. После этого контргруз размещается на валу. Коленвалы после каждой операции подвергаются проверке. Проверяются геометрия, распределение припусков, отсутствие наростов, раковин, волосовин, заковов и др. После окончания обработки вал поступает на окончательный контроль, при котором еще раз проверяют геометрию, в том числе биение коренных шеек и параллельность шатунных шеек. После этого вал клеймят.

7.4 Обработка цилиндров

Цилиндры являются основной ответственной деталью паровоздушных и пневматических молотов и гидравлических прессов. По конструкции цилиндры молотов подразделяются на цельные и со вставными рубашками. Цилиндры прессов в отличие от цилиндров ковочных молотов не испытывают ударных нагрузок, но работают при весьма высоких давлениях (400-600 МПа)

Цилиндры молотов изготавливаются из стальных отливок, а если вес падающих частей до 1 тонны, то из чугуна. Отливка должна быть тщательно очищена от песка особенно те каналы, которые не подвергаются мехобработке. Отливка перед мехобработкой подвергается отжигу. Рубашки цилиндров отливаются из чугуна.

Рубашка запрессовывается в нагретый цилиндр. Цилиндр нагревается паром в течение 5-8 часов до 150-250⁰С. После нагрева холодная рубашка в вертикальном положении с помощью крана быстро вводится в цилиндр. Посадочные места на рубашке перед запрессовкой смазываются смазкой на основе графита.

Точность обработки посадочных поверхностей в цилиндре должна соответствовать 8/9 качеству точности, шероховатость поверхности $Ra \leq 2,5$ мкм; точность обработки внутреннего диаметра рубашки должна соответствовать 6-9 качествам точности, шероховатость $Ra=1,25 \div 0,32$ мкм; конусность и эллипсность внутреннего диаметра рубашки цилиндра допускается по всей длине не более 0,05 \div 0,1 мм. Допускаемая несоосность отверстий для поршня и штока не более 0,03мм.

Цилиндры прессов разделяются: на глухие и сквозные. Цилиндры изготавливают из стали 45. Заготовка перед обработкой должна быть внимательно осмотрена на предмет отсутствия раковин, трещин, волосовин. Исправление дефектов сваркой не рекомендуется.

Точность изготовления глухих цилиндров в пределах 8/9 качеств точности при шероховатости $Ra=10 \div 2,5$ мкм. Точность изготовления сквозных цилиндров в пределах 6-9 качеств точности, шероховатость $Ra=1,25 \div 0,32$ мм.

В таблице 13 приведен технологический маршрут механической обработки ковального цилиндра для гидропресса.

Таблица 13 - Технологический маршрут механической обработки ковального цилиндра для гидропресса

№	Содержание операции	Оборудование
1	Фрезерная обработка (подрезка торца заготовки)	Горизонтально-расточной станок
2	Разметка торцов под центровые гнезда	Разметочная плита
3	Центрование, сверление и зенкерование центровых гнезд.	Горизонтально-расточной станок
4	Токарная обработка (обточка наружных поверхностей, подрезка торцов, расточка вводного отверстия под расточную головку)	Токарный станок
5	Кольцевое растачивание отверстия (предварительное и окончательное), подрезка торца	Токарный станок для глубокого растачивания
6	Токарная обработка (чистовая обточка наружного диаметра)	Токарный станок
7	Испытание на пробное давление	Гидравлический насос и стенд для испытания
8	Обработка остальных поверхностей	
9	Шлифование внутреннего диаметра до окончательного размера и на требуемую чистоту	Токарный станок и шлифовальное приспособление
10	Контроль	

Существует два способа получения внутренних отверстий: первый- сверление с последующим растачиванием специальными головками, которые снимают припуск по

диаметру до 150-160 мм; второй - кольцевое сверление отверстия, называемое трепанированием. Первый способ весьма трудоемок, второй более производителен. Кольцевое сверление подразделяется на: а) сквозное; б) встречное; рис.48 Инструментом служит специальная головка (аналог - кольцевой ледоруб), позволяющая обрабатывать диаметры до 600мм.

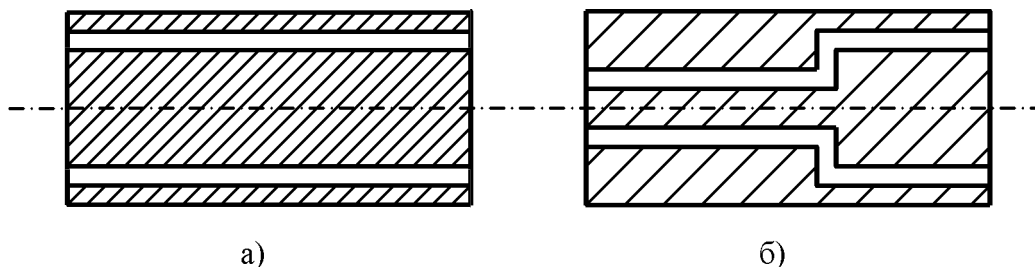


Рис. 48 Схема кольцевого сверления: а) сквозное; б) встречное.

Встречное кольцевое сверление применяют при обработке ступенчатых отверстий в цилиндрах. Вначале обрабатывают на заданный размер одну ступень отверстия, затем переустанавливают деталь, меняют резцовую головку и сверлят встречную ступень.

Перед кольцевым сверлением отверстия в цилиндре для обеспечения жесткости при врезании кольцевой головки и ее направления на входе необходимо оставлять на заготовке выступ А или делать выточку Б рис.49.

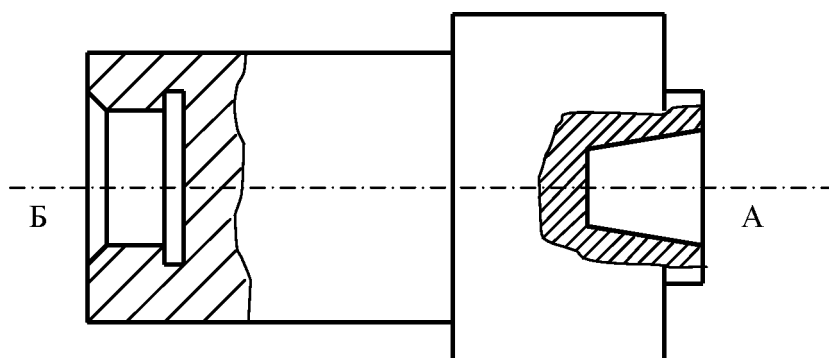


Рис. 49 Виды углублений в заготовке для обеспечения жесткости врезания кольцевой головки

Кольцевая головка при обработке закрепляется в борштанге. Последующая чистовая обработка отверстия производится расточными головками, для крепления которых используется та же борштанга.

Чистовая обработка нагруженных поверхностей производится в следующей последовательности: цилиндр устанавливается в четырехкулачковый патрон, другой его конец поддерживается люнетом и поджимается к тому же, задним центром. Выверка производится по внутреннему диаметру цилиндра с точностью до 0,05мм. Обработка осуществляется за два перехода с переустановкой цилиндра.

После этого цилиндр испытывается на пробное (повышенное кратковременное) давление и на рабочее (длительное).

Контроль. У цилиндров проверяются: а) длина и диаметральные размеры по всей длине цилиндра; б) перпендикулярность оси к торцам в двух взаимно перпендикулярных направлениях; в) шероховатость поверхности.

Проверка внутренних диаметров производится **нутромером**.

7.5 Обработка ползунов

Ползуны в кузнечно-прессовых машинах служат для направления рабочих органов при возвратно-поступательном перемещении в кривошипных прессах, молотах и др. В ГКМах в ползуне крепятся вставные пуансоны, которые при поступательном движении деформируют поковку. Ползуны изготавливают из стали 45. Заготовкой служит поковка для малых ползунов и отливка из стали для ползунов больших размеров.

Технические условия на изготовление ползунов: не параллельность направляющих поверхностей в пределах 0,1 мм на длину 1000 мм; шероховатость обработки направляющих поверхностей $Ra = 2,5 \div 1,25$ мкм; остальные $Ra \leq 10$ мкм. Посадочные места выполняются по 6-9 квалитетам.

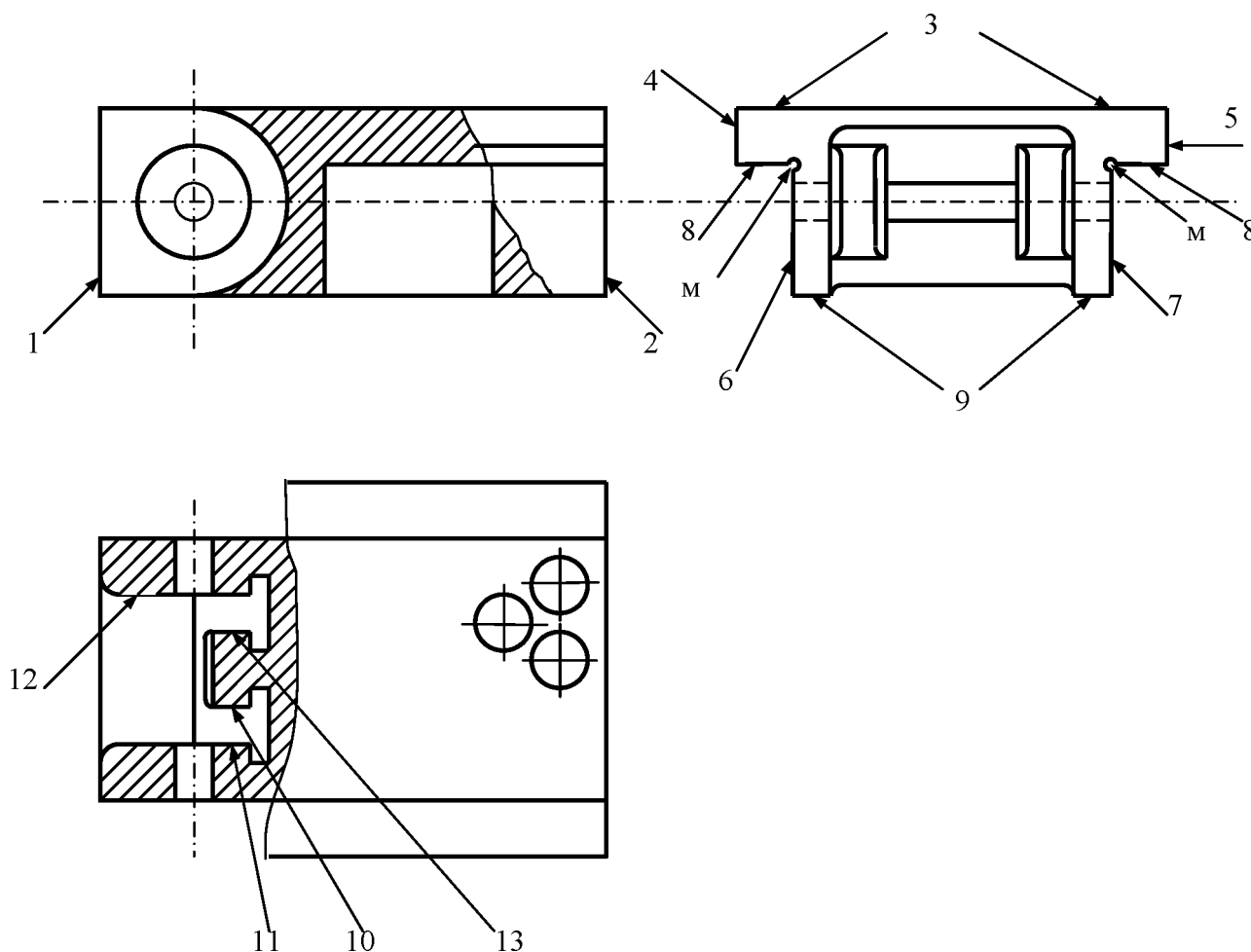


Рис. 50 Боковой ползун ГКМ

В таблице 14 приведен технологический маршрут мехобработки ползуна ГКМ.

Таблица 14 - Технологический маршрут мехобработки ползуна ГКМ в серийном производстве

№	Содержание операции	Оборудование
1	Разметка.	Разметочная плита
2	Строгание плоскостей 1,2,3,4,5,6,7,8,9 и канавок М.	Продольно-строгальный станок.
3	Шлифование плоскостей 3,6,7 и 9.	Плоскошлифовальный станок.
4	Расточка трех отверстий на поверхности 3, сквозного отверстия на поверхности 6 с обработкой плоскостей 10,11,12,13.	Горизонтально-расточной станок.
5	Сверление, рассверливание, зенкерование всех остальных отверстий по кондуктору, нарезка резьбы.	Радиально-сверлильный станок.
6	Слесарная прорубка или фрезерование смазочных канавок, сверление мелких отверстий, притупление острых кромок.	

Строгание всех плоскостей производится за три установки рис.51. При установке I на стол станка устанавливают несколько деталей необработанными плоскостями 9. После чего детали выверяют и строгают плоскости 3.

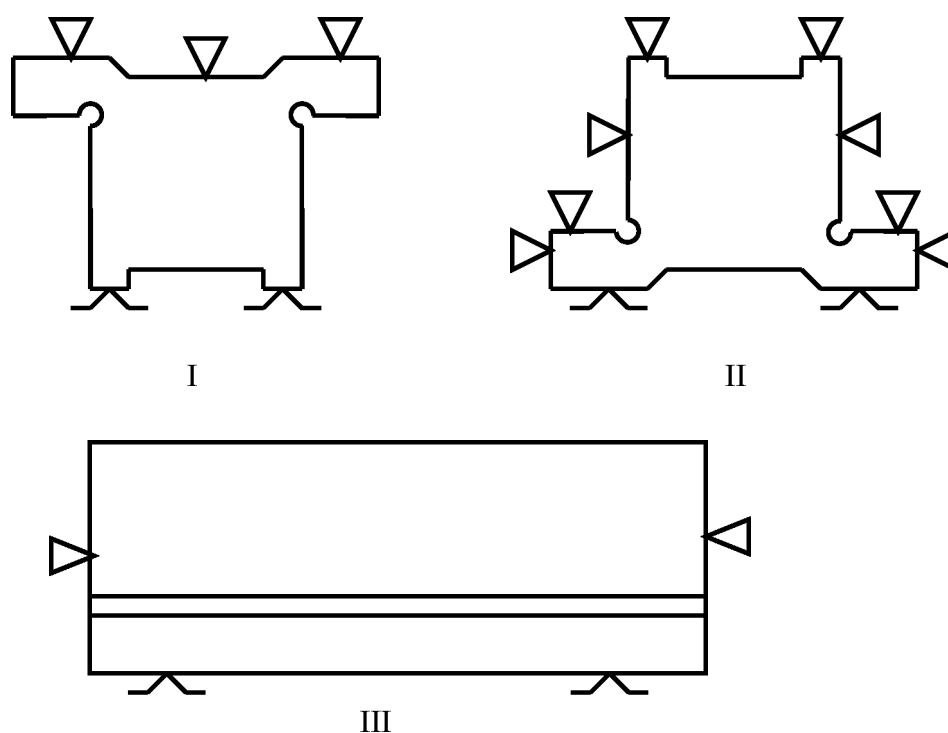


Рис. 51 Схема строгания ползуна ГКМ

Строгание производится в два прохода: черновое и получистовое с припусками под шлифование. Установка II производится по чистой базе. При этом выверяют по разметочным рискам перпендикулярность торцов к направлению хода стола с точностью 0,5мм на 1000мм длины, обработка ведется в несколько этапов. В начале обрабатывается поверхность 9, затем 6 и 7. На втором этапе строгаются поверхности 5 и 4. На третьем этапе строгается поверхность 8 и наконец канавки М. Поверхность 4 и 5 обрабатываются на размер, 6,7,8,9 с припуском под шлифование. При установке III деталь базируется по поверхности 3 поперек стола и выверяется по обработанным поверхностям 6 и 7 на перпендикулярность. Затем деталь закрепляется и строгается на размер.

Плоскости 3,6,7 и 9 шлифуют за четыре установки. При установке I шлифуется поверхность 9 с базированием по плоскости 3. При установке II шлифуется поверхность 3 на окончательный размер. При установках III и IV с базированием по плоскости 3 шлифуются поверхности 6 и 7, в результате чего достигается требуемая шероховатость и точность.

Расточная операция производится за две установки. При установке I деталь помещается шлифованной плоскостью в расточное приспособление. Положение проверяется в двух взаимно перпендикулярных направлениях по поверхности 3. После чего производится окончательная обработка в размер трех отверстий. При установке II обработка производится в расточном приспособлении с базированием по плоскости 3. Выверка аналогична выверке при установке I. При этом растачивается сквозное отверстие, подрезаются торцы 10,11,12,13...

Контроль.

Осуществляется после каждой операции. По окончании обработки производится контроль ползуна по техническим условиям на чертеже. Проверяются прямолинейность, плоскостность, перпендикулярность, геометрические размеры базовых плоскостей и основных отверстий и чистота поверхности.

7.6 Обработка шкивов и маховиков

В кузнечно-прессовом машиностроении встречаются шкивы диаметром от 100мм до 800мм., см. рис.52. Отверстия шкивов делаются гладкими, со шпоночной канавкой, шлицевые или конусные. Радиальное и торцевое биение шкивов не должно превышать допусков, заданных на чертеже. Для изготовления шкивов применяется серый чугун. Технологический процесс изготовления шкивов зависит от масштаба производства и габарита шкивов, см. таблицу 15.

Шкивы диаметром более 500мм обрабатываются на карусельных станках за две установки.

Таблица 15 – Типовой технологический маршрут обработки шкивов от 100 до 500 мм

№	Содержание операции	Тип производства		
		массовое	серийное	единичное
		Оборудование		
1	Сверление и рассверливание (зенкерование) отверстия и подрезка торца ступицы.	Вертикально-сверлильные станки. Токарные станки.		Токарные станки.
2	Подрезка второго торца ступицы.	Токарный станок.		Токарный станок.
3	Окончательная обработка отверстия.	Протяжной станок.		Долбежный станок
4	Обработка шпоночного паза.	Долбежный станок.		Долбежный станок
5	Черновое обтачивание обода, торцов и канавок. Базирование шкива по отверстию на оправке.	Токарные полуавтоматы.		Токарный станок.
6	Чистовое обтачивание обода, торцов, канавок.	Токарные полуавтоматы.		Токарный станок.
7	Сверление отверстий в ступице и ободу.	Вертикально-сверлильные станки		Вертикально- и радиально-сверлильные станки
8	Балансировка.	Балансировочный станок.		

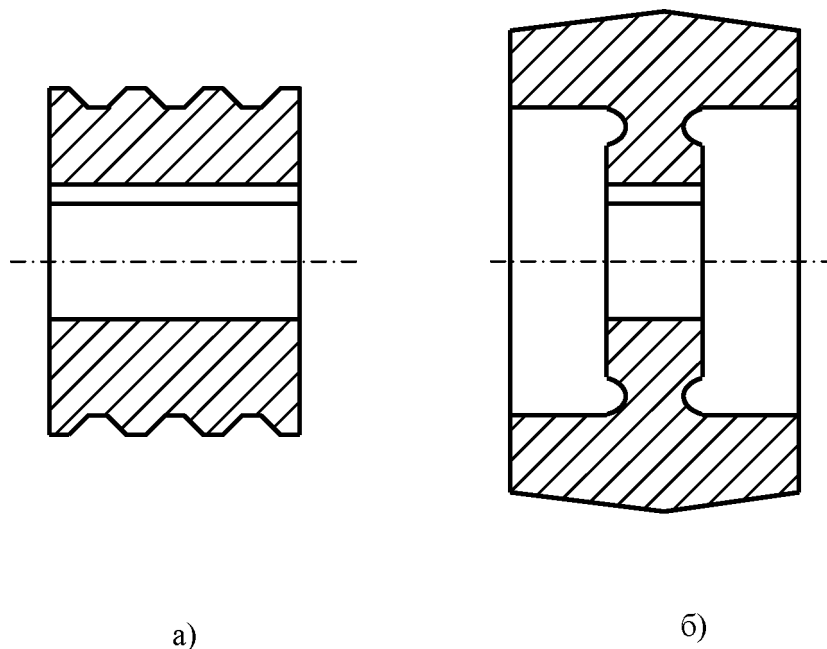


Рис. 52 Шкивы: а) с трапецеидальными канавками; б) с выпуклыми ободьями.

Маховики являются телами вращения с большим весом. Обтачивание их производится с базированием по торцу и по внешней поверхности обода. Обработка с базированием по центральной оправке для маховиков диаметром более 600мм не

применяется, т.к. оправка не может выдержать больших усилий при обтачивании обода. Обработка маховиков диаметром менее 600мм аналогична обработке шкивов. Маховики диаметром от 600 до 1000мм обрабатываются, главным образом на карусельных станках. Маховик устанавливают на планшайбе, на подкладке, чтобы обеспечить промежуток между ободом, планшайбой для выхода резца при проточке. Во время первой операции обтачиваются торцы ступицы и обода, растачивается центральное отверстие и протачивается обод начерно и начисто. Во второй операции маховик переустанавливается, подрезается ступица и торец обода второй стороны. Концентричность центрального отверстия и наружного диаметра маховика обеспечивается тем что, они обрабатываются за одну установку. Важно во время крепления маховика не вызвать его деформацию.

8. Изготовление штампов

Штампы кузнечно-штамповочного производства по функциональному назначению делятся на штампы горячего деформирования: обрезаемые, пробивные, прошивные, молотовые, штампы ГКШП, штампы ГКМ, вальцовочные, правочные и калибровочные; и штампы холодного деформирования. В свою очередь штампы холодного деформирования разделяются на штампы холодной листовой штамповки: вырубные, пробивные, формовочные, гибочные вытяжные и штампы холодной объемной штамповки: калибровочные, чеканочные, высадочные и др.

8.1 Штампы для горячей штамповки

Молотовые штампы. Заготовки для штампов поступают на заводы-потребители в форме кубов и удлиненных прямоугольных параллелепипедов, называемых «кубиками». Для того чтобы из «кубика» изготовить штамп, «кубик» должен быть подвергнут многократной обработке на различных универсальных и специальных станках.

Построение операций механической обработки «кубиков» зависит от величины твердости и размеров. Штампы с высотой «кубика» до 300мм проходят полный цикл механической обработки, закаливаются и отпускаются до твердости НВ 387-444, затем подвергаются слесарной обработке и полированию. Штампы с высотой «кубика» свыше 300мм и до 400мм проходят предварительную механическую обработку, закаливаются и отпускаются до твердости НВ 363-415, затем окончательно обрабатываются. Штампы с высотой «кубика» свыше 400мм вначале закаливают и отпускают до твердости НВ 302-301, затем они полностью проходят полный цикл механической обработки и слесарной доработки.

Типовая последовательность обработки «кубиков» включает следующие операции: сверление подъемных отверстий на радиально-сверлильном или расточном станке; строгание граней «кубика», контрольных углов, хвостовика в виде «ласточкина хвоста» на продольно-строгальных, поперечно-строгальных станках или фрезерование на вертикально-фрезерных станках торцевыми фрезами. После этого шлифуется плоскость разъема и проводятся разметка ручьев и шпоночного паза.

Разметка – одна из наиболее ответственных операций при изготовлении штампа. Перед разметкой лицевую часть штампа покрывают раствором медного купороса, чтобы выделялись риски разметки. Контрольные стороны штампа являются двумя координатными осями, от которых начинается разметка.

Для обработки круглых ручьев, замков используют токарно-карусельные станки. Фигурные ручьи, выемки под клещевину, облойные канавки обрабатывают фрезерованием на копировально-фрезерных станках. Взамен фрезерования часто используют электрофизические и электрохимические методы обработки ручьев (особенно при наличии у ручьев сложной полости). Молотовые штампы также успешно изготавливают с применением электрошлакового переплава и точного литья.

Контроль качества изготовления гравюры штампа проводят по свинцовой или селитровой отливке. С этой целью обе половины штампа устанавливают вертикально и стягивают; затем в литниковую канавку заливают расплавленный свинец (баббит, сплав Вуда). По полученной отливке проверяют размеры, смещение половин штампа. После этого проводят доводочные работы: слесарная обработка ручьев в участках, недоступных для обработки на станках (с помощью пневматической шлифовальной турбинки); шлифование.

Штампы ГКШП. Изготовление блоков штампов для ГКШП сходно с изготовлением блоков штампов для листовой штамповки. В качестве заготовок плит блоков используют стальные отливки: их обрабатывают по плоскости и в сборе растачивают отверстия под колонки и втулки. После обработки гнезд размечают вставки, обрабатывают все остальные гнезда, пазы, окна, выполняют сборку механизмов выталкивания, зажимов и все остальные гнезда, пазы, окна, выполняют сборку механизмов выталкивания, зажимов и других деталей.

Цилиндрические вставки штампов ГКШП обрабатывают на токарных станках, протачивают посадочную часть и растачивают концентрично расположенные полости ручья. После токарной обработки следует закалка, шлифование посадочной части, шлифование и доводка рабочей полости вставки.

Призматические вставки обрабатывают в той же последовательности, что и молотовые штампы. Ручьи обрабатывают на копировально-фрезерных станках. Применяют также холодное выдавливание рабочих полостей вставок, кроме того, целесообразно применять различные электрофизические и электрохимические методы обработки.

Штампы ГКМ. Штампы ГКМ обычно состоят из пуансонов и блока матриц из двух половинок, которые смыкаются перед тем, как производится высадка поковки, и размыкаются для удаления готовой поковки. Блок матриц содержит несколько ручьевых вставок: заготовительные, пережимные, прошивные, обрезные и т.д.

Пуансоны штампов обычно имеют цилиндрическую форму, поэтому их обрабатывают на токарных станках. В заготовках блока матриц вначале сверлят подъемные отверстия, затем заготовки строгают. После этого на плоскостях разъема обеих матриц размечают все ручьи, которые обрабатывают на горизонтально-расточных или вертикально-фрезерных станках.

Вставки матриц изготавливают из кованных заготовок. Если вставки должны образовать ручей цилиндрической формы, то ее изготавливают ковкой в виде кольца и разрезают в виде двух полуколец. Далее обрабатывают плоскость разъема вставок. Рабочую полость вставок обтачивают или фрезеруют в зависимости от ее формы. Во вставках сверлят отверстия для крепления; после термообработки вставки пригоняют по гнездам блоков и их рабочую полость доводят окончательно.

Обрезные штампы. При их изготовлении обычно применяют кованные заготовки. Обработку пуансонов с хвостовиками в форме «ласточкина хвоста» начинают строганием на поперечно-строгальном станке лобовой поверхности, затем строгают хвостовую и фронтную поверхности. На фронтной поверхности размечают форму хвостовика. Хвостовую часть обрабатывают на строгальном станке, затем фрезеруют режущий контур на вертикально-фрезерном станке. Правильность обработки проверяют шаблоном. Цилиндрические и прошивные пуансоны обрабатывают на токарных станках.

Обрезные матрицы со сложным контуром изготавливают теми же способами, что и матрицы для прессования. Для упрощения изготовления матриц их изготавливают сборными. При горячей обрезке пуансон-матрицу изготавливают по чертежу горячей штамповки, а при холодной обрезке – по чертежу холодной штамповки. Слесарную доводку пуансона и матрицы для горячей обрезки производят по отливке (слепку) с окончательного ручья штампа. Доводку пуансона и матрицы для холодной обрезки осуществляют по отштампованной детали из партии, подлежащей обрезке.

Съемники штампов обычно представляют собой подобие рамок, охватывающих пуансоны, которые изготавливают из толстолистового проката фрезерованием и строганием и пригоняют по соответствующим пуансонам.

Технология изготовления штампов горячей и холодной объемной штамповки схожи. Вместе с тем требования по точности и шероховатости при изготовлении штампов холодной штамповки, как правило, выше.

8.2 Штампы для холодной листовой штамповки

Основным документом, определяющим требования к изготовлению штампов, является ГОСТ 22472-77 «Штампы листовой штамповки. Общие технические условия».

Все детали штампов делятся на две группы: детали технологического назначения, непосредственно участвующие в формоизменении (матрицы, пуансоны), и детали конструкционного назначения, обеспечивающие связь и взаимную фиксацию частей штампа (блок штампа, состоящий из верхней и нижней плит, направляющих втулок и колонок, цилиндрических пружин, шагового ножа, ловителя, фиксатора, упоров, прижимов и др.) Кроме этого детали делятся на нормализованные (гостированные) и специальные.

Общая технологическая схема изготовления деталей штампов включает в себя получение заготовки и последующую обработку по чертежу. При получении заготовок выполняют следующие операции: отрезание куска материала от плиты, полосы, столба, штанги дисковой пилой, механической ножовкой, газовым резаком; ковку, изотермический отжиг, обтачивание по диаметру или черновое шлифование.

8.2.1 Изготовление нормализованных деталей

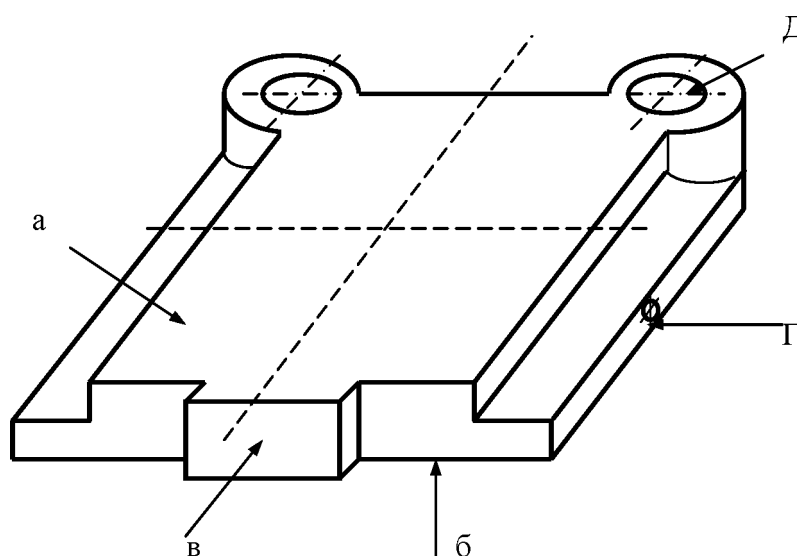


Рис. 53 Нижняя плита штампа из исходной литой заготовки

Блок штампа относится к нормализованным деталям. Плиты из литых исходных заготовок (см. рис.53) рекомендуется обрабатывать в следующей последовательности:

1. строгать, фрезеровать плоскости «а», «б» с припуском, выступ «в» для маркировки окончательно;
2. разметить отверстия «г» под транспортные штыри отверстия «Д» под колонны на разметочном столе или координатно-расточном станке;
3. сверлить отверстия «Г» и «Д» с припуском;
4. шлифовать плоскости «а» и «б»;
5. расточить отверстия «д» до окончательного размера на КРС с выверкой по плоскости «б»;
6. нарезать резьбу в отверстиях «г»;
7. острые кромки притупить, маркировать.

Обработка плит из заготовок сортового проката отличается наличием операций отрезки заготовки на пиле или фрезерном станке, а также строганием (фрезерованием) шести граней заготовки.

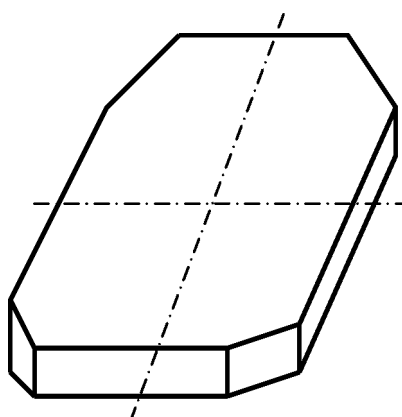


Рис. 54 Плита штампа из заготовки сортового проката

Отверстие в верхней плите под хвостовик обрабатывают при изготовлении-сборке штампа, так как его размещение зависит от положения центра давления штампа.

Направляющие колонки и втулки изготавливают на токарном станке из прутка, трубы с припуском под шлифование, затем цементируют, закаливают и шлифуют.

Круглые пуансоны и матрицы разделительных штампов, державок к ним – нормализованы. Обработка ступенчатого пуансона с заплечиком (см. рис. 55) осуществляется в следующей последовательности:

Осуществляют в зависимости от типа производства и сложности конфигурации изделия по различным схемам. Например, для единичного и серийного производства как сложных так и простых по форме деталей применяют следующую схему обработки.

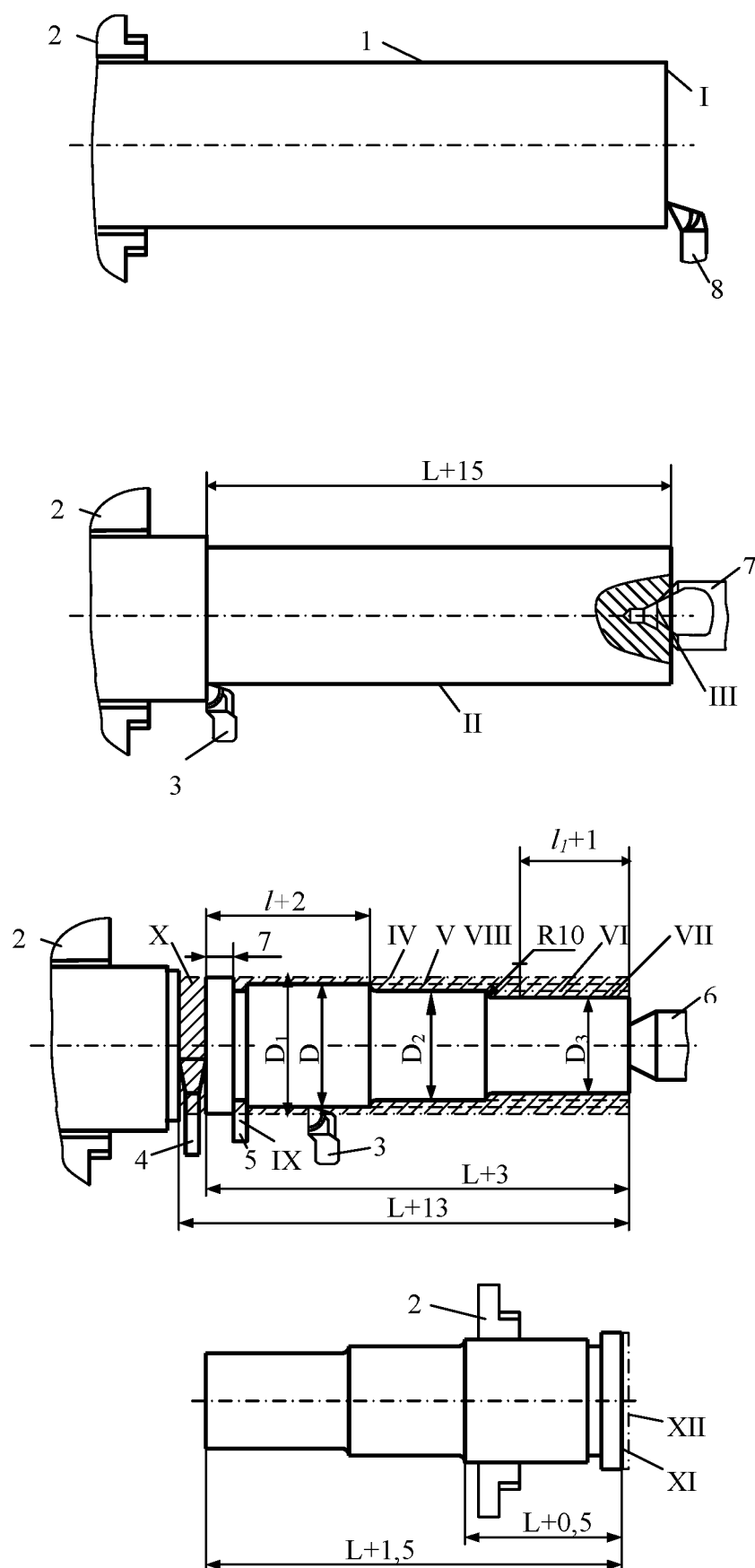


Рис.55 Обработка пуансона с заплечиком:
 1 – заготовка; 2 – патрон; 3- проходной резец; 4 – отрезной резец; 5 – канавочный резец; 6 – вращающийся центр; 7 – центровочное сверло; подрезной резец.

- I. подрезать торец прутка;
- II. проточить пруток по длине $L+15\text{мм}$, но не менее диаметра D_1 ;
- III. зацентровать рабочий торец;
- IV. проточить по длине $L+13\text{мм}$ по диаметру D_1 ;
- V. проточить до буртика по диаметру D_c с припуском под шлифование;
- VI. проточить до посадочной части по диаметру D_2 с припуском под шлифование;
- VII. проточить до скользящей части диаметра D_2 по диаметру D_3 с припуском под шлифование;
- VIII. проточить переход по радиусу $R\ 10\text{мм}$ с припуском под шлифование;
- IX. проточить канавку у заплечика для выхода шлифовального круга;
- X. отрезать заготовку от прутка;
- XI. подрезать торец заготовки с другой стороны;
- XII. зацентровать тыльную часть.

После токарной обработки закалить, отпустить. После чего зачистить центровые гнезда и шлифовать: посадочную часть по диаметру $D\ h_6$, скользящую часть по диаметру $D_2\ h_6$, рабочую часть по диаметру D_3 с допуском по чертежу на длине l_1 , переходы по $R=10\text{мм}$; шлифовать торец заплечика предварительно. Окончательно в сборе с пуансонодержателем. На готовом пуансоне маркировать электродом обозначения.

8.2.2 Изготовление специальных деталей

Среди специальных деталей наиболее ответственными являются матрицы и пуансоны. Следует отметить сложность и трудоемкость завершающей стадии обработки. В первую очередь это относится к многопрофильным пуансонам и матрицам для разделительных операций, так как они должны быть обработаны и собраны в пакете штампа с весьма малым зазором, обеспечивающим качество операции. Равномерность зазора между рабочими элементами может быть получена способом независимой обработки или взаимной пригонки. При крупносерийном и массовом производстве круглые вырубные пуансоны и матрицы делают взаимозаменяемыми и изготавливают отдельно. При серийном производстве штампы некруглого контура, а так же средние и крупные штампы круглого профиля изготавливают слесарной подгонкой пуансона по матрице для вырубных и матрицы по пуансону для пробивных штампов.

Кроме этого обработка деталей штампа может включать операции механической обработки: координатное растачивание, контурное фрезерование, фасонное строгание, токарную обработку, доводку, копирование, шлифование. Кроме этого применяется электроискровая, электроимпульсная обработка и ультразвуковая обработка.

Матрицы со сложным профилем рекомендуется делать составными из частей, которые было бы легко обработать.

8.3 Сборка штампов

Процесс изготовления штампа завершается сборкой и испытанием.

Особенность сборки состоит в том, что многие ее операции не поддаются контролю, и поэтому ошибки, допущенные при сборке выявляются при испытании и эксплуатации штампа.

Сборку штампа обычно выполняют в два этапа: в первый входят все операции, подготовляющие условия для окончательной сборки (сверление отверстий, нарезание резьбы, сборка отдельных деталей узлов); во второй входит окончательная сборка.

Сборка штампа для вырубки, пробивки начинается с крепления матрицы к нижней плите по предварительно обработанным отверстиям. Затем пуансоны через отверстие в съемнике вставляют в рабочие окна матрицы на глубину 3-4 мм. Скрепляют съемники с матрицей струбцинами, сверлят и разворачивают отверстия под штифты. После установки штифтов в съемнике сверлят отверстия под винты.

После сборки нижней части штампа переходят к верхней. Сборку начинают с установки в пуансонодержатель пуансонов и ножей; в первую очередь устанавливают вырубной пуансон, обращая особое внимание на отсутствие качки в посадке и строгую перпендикулярность к плоскости пуансонодержателя. Поочередно вставляют все пуансоны. Проверку осуществляют накладыванием матрицы на пуансоны и подсвечиванием зазора снизу, что позволяет убедиться в его равномерности.

Если пуансоны не имеют заплечиков, их после проверки слегка расклепывают с верхней стороны и шлифуют, чтобы совместить опорные плоскости пуансонов и пуансонодержателя. Затем пуансонодержатель крепят к верхней плите. Для этого пуансоны вводят в окна матрицы, закрепленной на нижней плите блока, на пуансонодержатель накладывают верхнюю плиту, надетую втулками на направляющие колонки, весь штамп скрепляют в таком виде струбцинами и после этого сверлят крепежные и штифтовые отверстия в сборе в верхней плите и пуансонодержателе.

Сборка штампов для гибки и вытяжки в отношении слесарной обработки менее сложна. При сборке их без блока не требуется никаких специальных операций для обеспечения правильного взаимного расположения матрицы и пуансона, которое достигается при установке на прессе.

При сборке блочного штампа сначала крепят матрицу к нижней плите, пуансон устанавливают на матрице, укладывая на их рабочей поверхности, между матрицей и пуансоном, эталонную деталь или набор плиток. Верхнюю плиту, введенную втулками на колонки, устанавливают на пуансонодержатель (или непосредственно на пуансон, если последний крепят к плите без пуансонодержателя), скрепляют штамп струбцинами и обрабатывают крепежные и штифтовые отверстия в верхней части штампа в сборе.

Сборку штампа совмещенного действия для пробивки и вырубки (см. рис.56) необходимо производить в следующем порядке: 1) установить пуансон-матрицу 3 с матрицедержателем 2 и подкладной плиткой на нижнюю плиту 1, скрепить струбцинами, обработать в сборе отверстия под штифты, затем скрепить матрицедержатель с нижней плитой; 2) посадить съемник 12 на пуансон-матрицу, наметить отверстия через нижнюю плиту, обработать отверстия, нарезать резьбу; 3) надеть матрицу 4 на пуансон-матрицу, подложив под матрицу на пуансонодержатель 6 дистанционные технологические плитки; 4) ввести пуансоны с пуансонодержателем в отверстия пуансона-матрицы, предварительно проложив промежуточную плиту 10 между матрицей и пуансонодержателем; 5) наложить поверх пуансонодержателя упорную плиту 8; 6) установить верхнюю плиту 7 с втулками на колонки и наложить её на плиту 8, затем скрепить верхнюю часть штампа струбцинами и снять её с колонок; 7) сверлить и развернуть в сборе отверстия во всех деталях верхней части штампа по отверстиям в матрице 4 и закрепить штифтами; 8) установить на нижней части штампа буфер, закрепить съемник; 9) собрать верхнюю часть штампа с выталкивателем 11; 10) установить верхние толкатели, тарелку 9, пружину и вернуть хвостовик; 11) собрать хвостовик с обоймой.

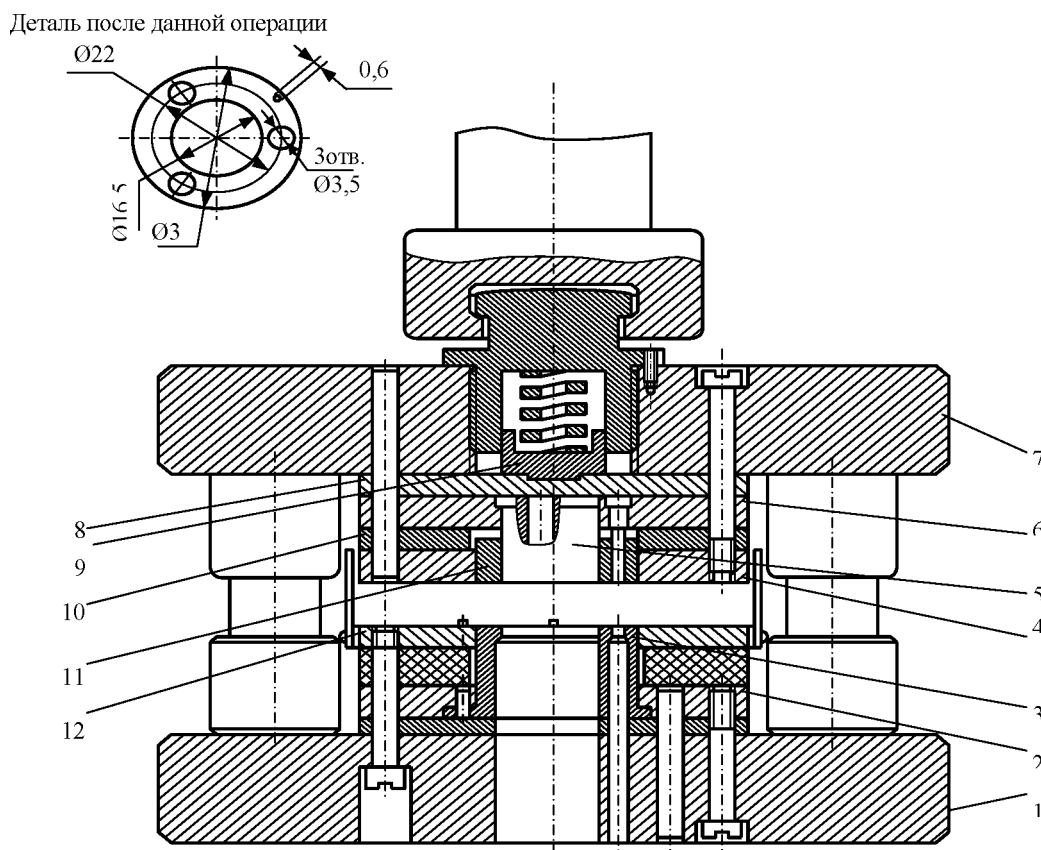


Рис.56 Штмп совмещённого действия:

1- нижняя плита; 2- матрицедержатель; 3- пуансон-матрица; 4- матрица; 5- пуансон; 6- пуансонодержатель; 7- плита верхняя; 8- плита упорная; 9- тарелка; 10- плита промежуточная; 11- выталкиватель; 12- съёмник

8.4 Особенности изготовления штампов с применением твёрдых сплавов

При больших партиях штампуемых деталей, при штамповке материалов, вызывающих повышенный износ рабочих деталей штампов, последние изготовляют из твёрдых сплавов. Применяют вольфрамовые металлокерамические сплавы ВК15, ВК10 и ВК25 – в штампах для разделительных операций; ВК6, ВК8 – в штампах для формоизменяющих операций. Технологический процесс изготовления твёрдосплавных деталей состоит из двух основных частей – изготовления исходных заготовок и их обработки.

Процесс изготовления исходных заготовок начинается с восстановления вольфрамового ангидрида до металлического вольфрама, которое происходит при температуре 800-1000⁰С в потоке водорода. Восстановленный металлический порошок вольфрама просеивают и сортируют по размерам зёрен порошка. Кобальт восстанавливают при температуре 500-700⁰С, затем просеивают и сортируют. Вольфрам смешивают с сажей, полученную смесь прокаливают при температуре 1460-1480⁰С и получают слегка спёкшийся порошок карбида вольфрама; его измельчают до размера частиц менее 3мкм. Затем этот порошок смешивают с кобальтом и производят мокрый размол в шаровых мельницах. Полученную смесь отфильтровывают, прессуют

и затем спекают. Получение исходной заготовки и изготовление из неё готовой матрицы, пуансона и других деталей осуществляют в зависимости от типа производства и сложности конфигурации изделия по различным схемам. Например, для единичного и серийного производства как, сложных, так и простых по форме деталей, применяют следующую схему обработки. В качестве исходных используются полуспеченные заготовки после предварительного спекания при температуре 900-1000⁰С. Исходная заготовка должна быть близкой по форме и размерам к готовой детали. Обработка исходной заготовки включает шлифование абразивными кругами для получения промежуточной заготовки, близкой по форме к готовой детали с размерами, учитывающими припуски на окончательную обработку и усадку, происходящую при окончательном спекании, окончательное спекание при температуре 1340-1450⁰С, окончательную механическую (алмазную) или электрофизикохимическую комбинированную обработку и доводку.

При изготовлении твёрдосплавных штампов широко применяют установку матриц в обоймы с натягом (с посадкой в обоймы при их нагревании до 370-400⁰ С). Для сборных матриц и пуансонов применяют клиновое крепление. Матрицы и пуансоны крепят также винтами и штифтами. При этом либо в твёрдый сплав впаивают втулки, в которых сверлят и развёртывают отверстия под штифты и нарезают резьбу под винты, либо нарезают резьбу в пластифицированной заготовке или электроэрозионным способом - в окончательно спечённой заготовке.

Наряду с разъёмными применяют способы неразъёмного крепления: заливкой легкоплавкими сплавами, эпоксидным клеем или самотвердеющей пластмассой, пайкой твёрдыми припоями, диффузионной сваркой и др.

Твёрдосплавные штампы отличаются более жёсткими блоками, имеющими направляющие повышенной точности. В блоках используют более толстые плиты. Число направляющих колонок втулок увеличивают до четырёх. Для обеспечения возможности заточки матрицы и пуансонов без полной разборки штампа в нижней плите блока с односторонним расположением устанавливают две или одну колонку (в зависимости от того, сколько колонок будет иметь блок), а остальные колонки помещают в верхней плите с противоположной стороны.

8.5 Особенности изготовления штампов с применением пластмасс

Применение пластмасс значительно снижает трудоемкость слесарно-доводочных работ и общую трудоемкость изготовления штампа. Из пластмасс путём простейших технологических процессов (отливки, прессования, напыления) изготавливают рабочие детали штампов (пуансоны, матрицы, прижимы). Кроме того, пластмассы применяют как материалы для соединения рабочих и других деталей штампов с несущими деталями (плитками, пуансонодержателями). При этом исключается трудоёмкая взаимная пригонка, центровка, появляется возможность быстро и без больших затрат осуществлять строгое согласование в расположении рабочих и других деталей штампов. Эффективность применения пластмассовых штампов возрастает (с экономической точки зрения) с увеличением сложности профиля детали.

Изготовление штампов с применением пластмасс обладает следующими преимуществами: быстротой и простотой изготовления; возможностью изготовления рабочих частей без дополнительной обработки; стабильностью размеров; достаточной механической прочностью; стойкостью к смазывающим материалам; небольшой массой.

Следует отметить, что по стойкости и ресурсу штампы, армированные пластмассой, уступают аналогичным по типу стальным штампам. Надёжность закрепления рабочих деталей штампа с помощью пластмассы также несколько ниже, чем при механических методах, рассмотренных ранее.

Основные пластмассы, используемые при изготовлении штампов, подразделяют на четыре группы, в соответствии с применяемыми в их композиции связующими веществами.

Пластмассы на основе эпоксидных смол (эпоксипласты), в состав которых связующий элемент - эпоксидная смола, характеризуются способностью затвердевать без применения внешнего давления, в большинстве случаев при комнатной температуре; высокой адгезией к металлам, древесине; высокой механической прочностью; стабильной усадкой, устойчивостью к действию влаги, масел, эмульсий; отсутствием коррозирующего действия на металл. Кроме эпоксидных смол в состав эпоксипластов входят пластификаторы, отвердители, наполнители. Пластификаторы вводят в композиции для снижения хрупкости и повышения пластичности после затвердевания. Отвердители способствуют процессу затвердевания пластмассы.

Наполнители вводят в композицию для изменения её свойств и в целях экономии смолы. Особенно сильное упрочняющее влияние оказывают волокнистые наполнители.

Порошковые наполнители не оказывают такого влияния на эпоксипласт, но значительно изменяют его физические свойства (усадку, вязкость, износостойкость).

Пластмассы на основе акриловых смол (акрилопласты) – это пластмассовые композиции, в которых связующим элементом являются акриловые смолы. Пластмассы состоят из порошков и жидкостей – мономеров. Кроме связующих в состав пластмассы входят наполнители, пластификаторы, катализаторы – ускорители и пигменты для окраски. Они хорошо обрабатываются резанием, обладают свойством бесследно «срачиваться» с дополнительным слоем однородной композиции, что даёт возможность наращивать имеющийся контур с целью изменения его формы и размеров, отличаются возможностью вторичной обработки.

Пластмассы на основе фенольно-формальдегидных смол (фенопласты) по свойствам уступают эпоксипластам, но более дешёвы. Основным недостатком фенопластов является их хрупкость.

Пластмассы на основе этилцеллюлозы, кроме этилцеллюлозы, состоят из пластификатора, стабилизатора и наполнителя (зелёный сухой сурик). Пластмасса расплавляется до вязко текучего состояния при температуре 190 – 200⁰ С, а при температуре 20⁰ С затвердевает. Пластмассу на основе этил целлюлозы применяют для изготовления рабочих деталей штампов формоизменяющих операций.

При изготовлении деталей и элементов конструкций первого типа применяют два основных метода изготовления: макетный и безмакетный.

Формообразование конструкций штампа при макетном методе может быть осуществлено способами литья, прессования, выклейкой, или наслаиванием и напылением.

Безмакетным методом рабочие элементы штампов можно изготавливать способом литья по эластичному листу, по деревянной модели и способом наложения массы.

При изготовлении деталей и элементов второго типа применяют в основном метод заливки. Смесь для заливки готовят непосредственно перед её применением.

Библиографический список

1. Штампы для горячего деформирования металлов. Тылкин М.А., Васильев Д.И., Рогалев А.М. и др. – М.: Высшая школа, 1977. – 496 с.
2. Боярский Л.Т., Коршиков Н.П. Технология кузнечно - прессового машиностроения. – М.: Машиностроение, 1980. – 432 с.
3. Беспалов Б.Л. Технология машиностроения. – М.: Машиностроение, 1973. – 442с.
4. Егоров М.Е. Технология машиностроения. – М.: Высшая школа, 1965. – 582 с.
5. Мендельсон В.С., Рудман Л.И. Технология изготовления штампов и пресс - форм. – М.: Машиностроение, 1982. – 204 с.
6. Палей М.М. Технология производства приспособлений, пресс – форм и штампов. – М.: Машиностроение, 1973. – 253 с.
7. Иващенко И.А. Проектирование технологических процессов производства двигателей летательных аппаратов. Учебное пособие для авиационных вузов. – М.: Машиностроение, 1981. – 224 с.