

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

С. С. КЛИМЕНКОВ
В. В. САВИЦКИЙ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАГОТОВОК В МАШИНОСТРОЕНИИ

Учебник

Утверждено
Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебника для студентов учреждений высшего
образования по специальности «Технология машиностроения,
металлорежущие станки и инструменты»

Витебск
2024

УДК 621.762
ББК 34.39
К49

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиностроение и эксплуатация автомобилей» Брестского государственного технического университета О. А. Медведев;

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Белорусского национального технического университета М. А. Леванцевич

Одобрено кафедрой «Технология машиностроения»
УО «ВГТУ», протокол № 4 от 17.11.2023.

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским
советом УО «ВГТУ», протокол № 3 от 27.11.2023.

Клименков, С. С.

К49 Проектирование заготовок в машиностроении: учебник /
С. С. Клименков, В. В. Савицкий. – Витебск : УО «ВГТУ» , 2024. –
253 с.

ISBN 978-985-481-760-6

В учебнике рассматриваются вопросы проектирования заготовок из листового материала, методами объёмного деформирования, из порошковых материалов, изготовленных различными способами литья.

Учебник составлен в соответствии с учебной программой дисциплины «Проектирование и производство заготовок» для студентов специальности 6-05-0714-02 «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты».

Предназначен для студентов высших учебных заведений.

УДК 621.762
ББК 34.39

ISBN 978-985-481-760-6

© Клименков С. С., 2024
© Савицкий В. В., 2024
© УО «ВГТУ», 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВОК.....	6
1.1 Операции листовой штамповки.....	6
1.2 Резка листового материала ножницами.....	9
1.3 Резание при вырубке и пробивке.....	13
1.4 Раскрой листового материала.....	15
1.5 Проектирование плоских листоштампованных заготовок. Задание 1.....	18
1.6 Гибка листового материала.....	29
1.7 Изогнутые листоштампованные заготовки. Задание 2.....	31
1.8 Использование САПР для моделирования изогнутых деталей из листа, получения развёрток и выполнения технологических расчётов.....	37
1.9 Вытяжка.....	52
1.10 Вытягиваемые листоштампованные заготовки. Задание 3.....	57
1.11 Вытяжка с утонением.....	64
1.12 Заготовки, получаемые вытяжкой с преднамеренным утонением стенок. Задание 4.....	66
2 ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ЗАГОТОВОК МЕТОДАМИ ОБЪЁМНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ.....	71
2.1 Общая характеристика процесса.....	71
2.2 Исходные материалы.....	72
2.3 Общие сведения о конструктивных и технологических параметрах заготовок, изготавливаемых методами горячей объёмной штамповки.....	73
2.4 Проектирование поковок, штампуемых на молотах. Задание 5.....	83
2.5 Проектирование поковок, штампуемых на высокоскоростных молотах. Задание 6.....	93
2.6 Проектирование поковок, штампуемых на кривошипных горячештамповочных прессах (КГШП). Задание 7.....	98
2.7 Проектирование поковок, штампуемых на горизонтально- ковочных машинах (ГКМ). Задание 8.....	104
2.8 Проектирование заготовок, изготавливаемых поперечно- клиновой прокаткой. Задание 9.....	115
2.9 Использование возможностей CAD/CAE в расчёте технологических процессов обработки давлением.....	126
3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАГОТОВОК, ИЗГОТОВЛЯЕМЫХ МЕТОДАМИ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ.....	140
3.1 Общие сведения о порошковой металлургии.....	140
3.2 Проектирование порошковых заготовок. Задание 10.....	141

4 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК.....	155
4.1 Общие сведения о конструктивных параметрах и технологических особенностях конструкции отливок.....	155
4.2 Определение общего припуска на обработку.....	161
4.3 Разработка чертежа отливки.....	186
4.4 Характеристики отливок и применяемых способов литья.....	200
4.5 Технологичность заготовок, изготавливаемых литьём в песчаные формы.....	201
4.6 Технологические особенности заготовок, получаемых литьём в оболочковые формы.....	209
4.7 Технологические особенности отливок, получаемых литьём по выплавляемым моделям.....	211
4.8 Технологические особенности заготовок, получаемых литьём в кокиль.....	214
4.9 Технологические особенности заготовок, получаемых литьём под давлением.....	216
4.10 Применение программных продуктов САЕ в расчётах процессов литья заготовок.....	225
4.11 Проектирование отливок. Задание 11.....	245
Рекомендуемая литература.....	251

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Проектирование и производство заготовок» является составной частью подготовки квалифицированных специалистов машиностроительного профиля. В процессе изучения студенты должны научиться анализировать технологические процессы формообразования заготовок с точки зрения их технологической и экономической целесообразности, учитывать экономическую эффективность, уметь выбрать оптимальный вариант, технологически грамотно выполнить расчёт заготовки и оформить конструкторскую и технологическую документацию, разработать технологический процесс производства, подобрать необходимое оборудование.

В настоящее время в процессе обучения студенты используют специальную литературу по соответствующим разделам обработки давлением, порошковой металлургии, литейному производству, сварке.

Отсутствие в библиотеках в достаточном количестве рекомендуемой литературы вызывает определённые сложности в организации учебного процесса. В предлагаемом учебнике систематизированы вопросы проектирования заготовок, которые получают из листовых материалов, методами горячего объёмного деформирования, из порошковых материалов, различными способами изготовления отливок. Рассмотрены вопросы применения компьютерных систем автоматизированного проектирования, анализа и расчётов при проектировании листовых заготовок, формуемых горячей обработкой давлением и литьём.

Учебник подготовлен в соответствии с учебным планом специальности 6-05-0714-02 «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» и может быть использован студентами других технических специальностей.

Учебник написан на основе анализа отечественной и зарубежной литературы с учётом изменений, которые произошли в заготовительном производстве благодаря активному использованию в процессах проектирования заготовок современных компьютерных технологий.

АВТОРЫ

1 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВОК

1.1 Операции листовой штамповки

Использование листов в качестве исходного материала для формирования плоских и объёмных заготовок методом штамповки является наиболее прогрессивным и распространённым технологическим процессом производства. Листовая штамповка имеет ряд преимуществ перед другими видами обработки. В техническом отношении к преимуществам листовой штамповки относятся: возможность изготовления сложных заготовок, выполнения сборочных работ; осуществления точной обработки контура заготовок и отверстий с корригированием межцентровых расстояний; изготовления лёгких и прочных конструкций при минимальном расходе металла; широкие возможности автоматизации.

В экономическом отношении листовая штамповка обладает следующими преимуществами: экономным использованием материала и сравнительно небольшими отходами; высокой производительностью оборудования; низкой стоимостью изготовления заготовок.

Листовая штамповка применяется для изготовления самых разнообразных заготовок практически во всех отраслях промышленности – от микроэлектроники до ракетостроения и атомного энергомашиностроения. В машиностроении методами листовой штамповки изготавливают 55–70 % заготовок, в приборостроении – до 75 %, а в производстве товаров широкого потребления – до 98 %.

Листовая штамповка наиболее широко применяется в массовом и крупносерийном производстве. Опыт показывает, что она может с успехом применяться в мелкосерийном производстве. Однако для этого необходимо использовать специальные средства и способы штамповки, обеспечивающие выпуск малых партий заготовок с минимальными затратами.

Операции листовой штамповки разделяются на две группы: разделительные и формообразующие (табл. 1.1–1.2). *Разделительные операции* предназначены для полного или частичного отделения одной части металла от другой. *Формообразующие операции* предназначены для объёмного пластического формообразования заготовок.

Таблица 1.1 – Схемы основных разделительных операций и их определение (ГОСТ 18970–84)

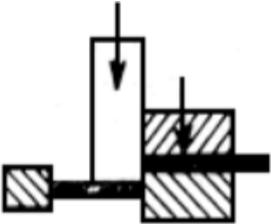
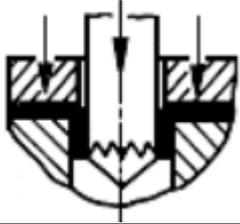
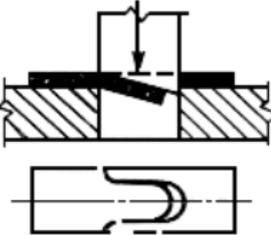
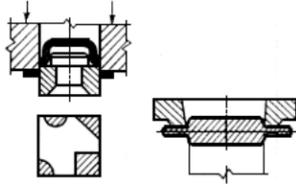
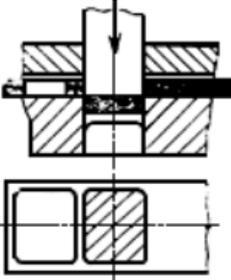
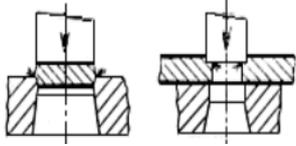
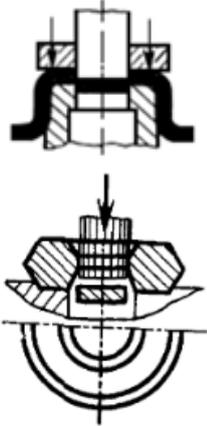
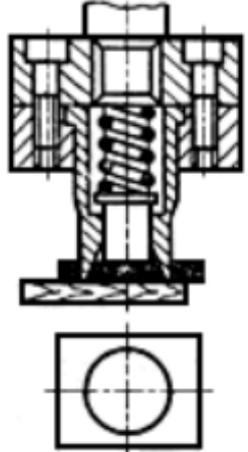
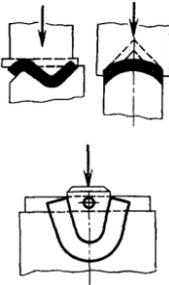
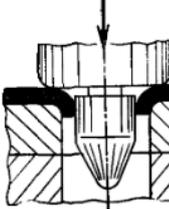
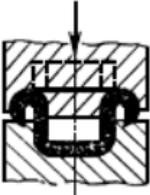
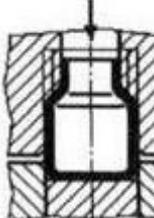
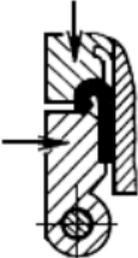
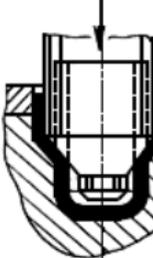
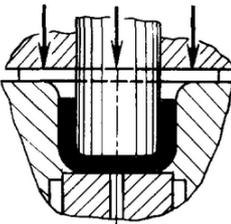
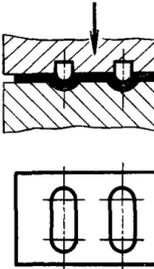
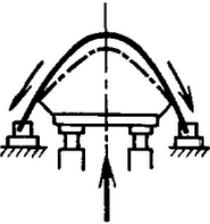
Термин и его определение	Схема операции	Термин и его определение	Схема операции
<p>Отрезка – полное отделение части заготовки по незамкнутому контуру путём сдвига</p>		<p>Проколка – образование в заготовке отверстия без удаления металла в отход</p>	
<p>Надрезка – неполное отделение заготовки путём сдвига</p>		<p>Обрезка – удаление излишков металла (припусков, обля) путём сдвига</p>	
<p>Вырубка – полное отделение заготовки или изделия от исходной заготовки по замкнутому контуру путём сдвига (отделённая часть – изделие)</p>		<p>Зачистка – удаление технологических припусков с помощью штампа с образованием стружки для повышения точности размеров и уменьшения шероховатости штампованной заготовки</p>	
<p>Пробивка – образование отверстия или паза путем сдвига с удалением отдельной части металла в отход</p>		<p>Просечка в штампе – образование отверстия в заготовке путем внедрения в нее инструмента с удалением части материала в отход</p>	

Таблица 1.2 – Схемы формоизменяющих операций листовой штамповки и их определение (ГОСТ 18970–84)

Термин и его определение	Схема операции	Термин и его определение	Схема операции
Гибка – образование или изменение углов между частями заготовки или придание ей криволинейной формы		Отбортовка – образование борта по внутреннему контуру заготовки	
Закатка – образование закругленных бортов на краях полой заготовки		Обжим в штампе – уменьшение размеров поперечного сечения части полой заготовки	
Завивка – образование закруглений на концах плоской заготовки или заготовки из проволоки		Раздача – увеличение размеров поперечного сечения части полой заготовки	
Вытяжка – образование полой заготовки или изделия из плоской или полой исходной заготовки		Рельефная формовка – образование рельефа в листовой заготовке за счет местных растяжений без обусловленного изменения толщины стенки	
Обтяжка – образование заготовки заданной формы приложением растягивающих усилий к ее краям		Правка давлением – устранение искаженной формы заготовки, уменьшение радиусов сопряжений отдельных участков заготовки	

К *заготовительным операциям* относятся: правка листов и полос на листопрямильных машинах и правильных валках, а также резка листов на полосы или штучные заготовки. Ряд операций выполняется на давяльных, роликовых и накатных станках.

Вспомогательными операциями являются: смазка заготовки, фосфатирование, зачистка заусенцев, виброгалтовка, обкатка в барабане, обезжиривание, травление, промывка.

К *термическим операциям* относятся: отжиг заготовок, закалка, отпуск.

К *отделочным* относятся следующие операции: полирование, лакировка, окрашивание, оксидирование, металлизация, декоративные и противокоррозионные покрытия (цинкование, меднение, лужение, никелирование, хромирование, кадмирование и т. д.).

1.2 Резка листового материала ножницами

Листовые материалы разрезают на полосы или заготовки на гильотинных, дисковых, вибрационных ножницах или в отрезных штампах.

Процесс резки листового материала состоит из трех последовательных стадий: упругой, пластической деформаций и хрупкого разрушения.

В стадии *упругих деформаций* напряжения в материале не превышают предела упругости; в стадии *пластической деформации* напряжения в разрезаемом материале больше предела текучести, но меньше сопротивления сдвигу и в стадии *разрушения* напряжения в материале соответствуют сопротивлению сдвига.

В процессе резки листового материала ножи внедряются в металл, что приводит к возникновению сложного неоднородного силового поля, которое сконцентрировано вблизи режущих кромок подвижного и неподвижного ножей, например, гильотины. Давление со стороны ножей может быть заменено равнодействующими удельных усилий P_1 со стороны подвижного и неподвижного ножей (рис. 1.1 а), приходящихся на единицу длины разделяемой заготовки.

Как следует из схемы действия сил, силы P_1 образуют пару с опрокидывающим моментом

$$M = P_1 a, \quad (1.1)$$

где a – плечо между точками приложения сил, примерно равное $(1,5-2)Z$; Z – зазор между ножами.

Под действием опрокидывающего момента материал стремится повернуться, занять наклонное положение и заклинить между ножами, при этом возникает боковое распирающее усилие T .

Величина бокового распирающего усилия без прижима листа составляет

$$T = (0,18 \div 0,35)P, \quad (1.2)$$

где P – усилие резания;
с прижимом

$$T = (0,1 \div 0,2)P. \quad (1.3)$$

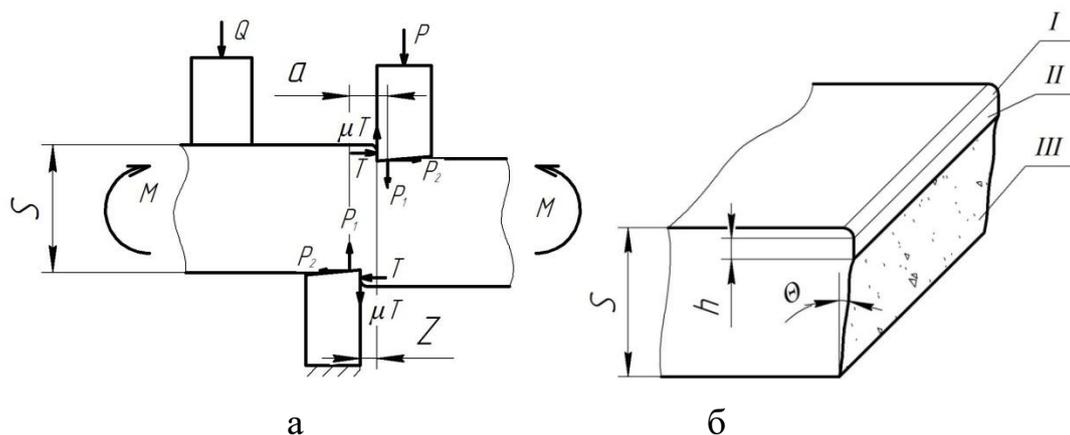


Рисунок 1.1 – Схема резки листового материала по незамкнутому контуру: а – схема действия сил; б – отрезанная заготовка; I – скругленная часть листа; II – поверхность пластического среза; III – поверхность скола

Для устранения возможности поворота листа в процессе отрезки предусмотрено прижимное устройство. Величина усилия прижима ориентировочно равна

$$Q = (0,3 \div 0,4)P. \quad (1.4)$$

Боковая поверхность отрезанной заготовки имеет характерные зоны (рис. 1.1 б). Зона I представляет собой скругленную часть листа. Необратимое скругление произошло в результате того, что слои металла, граничащие с поверхностью разделения, охвачены пластической деформацией, которая изменяется от нулевого значения на внешней границе слоя до максимума у поверхности разделения. Зона II – это поверхность пластического среза, сглаженная силами трения. Зона III представляет собой поверхность скола, образующуюся в результате возникновения и развития трещин скалывания. Трещины скалывания направлены под определенным углом θ к плоскости листа, называемым *естественным углом скола*, значение которого зависит от физико-механических свойств металла. Этот угол составляет 4–6°.

В зависимости от зазора между ножами Z , глубины проникновения ножа в толщу металла h трещины скалывания от кромок верхнего и нижнего ножей могут пройти параллельно или навстречу друг другу. В последнем случае зазор между ними будет оптимальным, так как поверхность скола получается наиболее гладкой.

Оптимальный зазор может быть определен из соотношения

$$Z_{\text{опт}} = (S - h) \cdot \text{tg } \theta, \quad (1.5)$$

где S – толщина материала; h – глубина поверхности пластического среза; θ – угол естественного скола.

Практически оптимальный зазор определяют на основании экспериментов. Для мягкой стали оптимальный зазор изменяется в зависимости от толщины металла от 0,02 (при толщине металла 0,25 мм) до 0,82 мм (при толщине металла 12,5 мм). Ориентировочно можно считать, что при толщине металла $S \leq 4$ мм $Z_{\text{опт}} = (0,03 \div 0,06)$ мм.

Резка может осуществляться на ножницах с параллельным расположением ножей, наклонным (гильотинных), дисковых, вибрационных, а также в штампах. Различные способы резки приведены в таблице 1.3.

Усилие резания для ножниц с параллельными ножами равно

$$P = L \cdot S \cdot \sigma_{\text{ср}}, \quad (1.6)$$

для ножниц с наклонными ножами

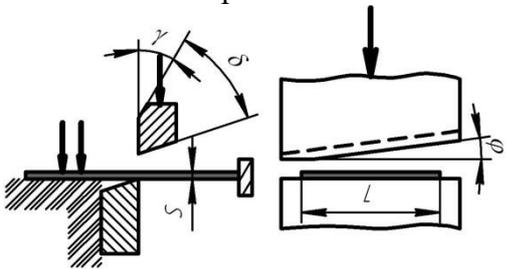
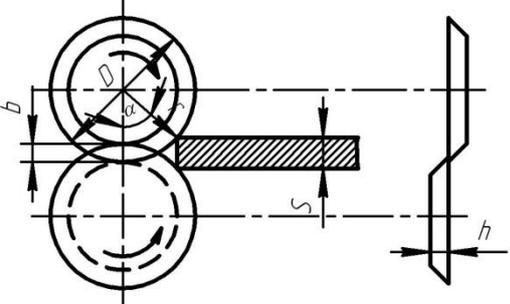
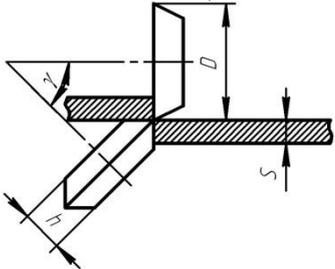
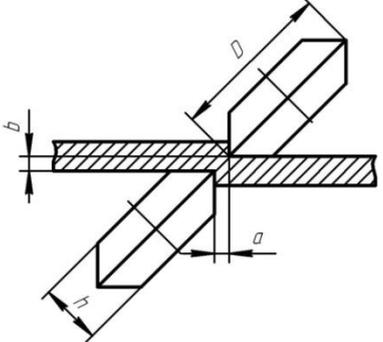
$$P = 0,5 \frac{S^2}{\text{tg } \varphi} \cdot \sigma_{\text{ср}}, \quad (1.7)$$

для дисковых ножниц

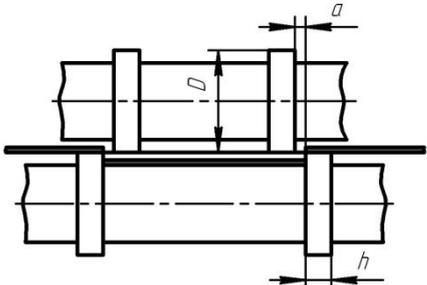
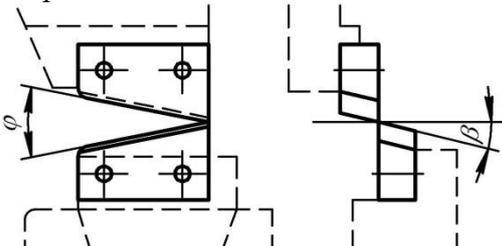
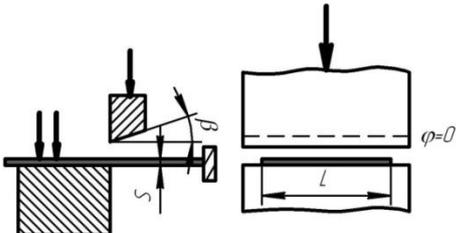
$$P = 0,5 \frac{h_{\text{п}} \cdot S}{\text{tg } \varphi \alpha} \cdot \sigma_{\text{ср}}, \quad (1.8)$$

где L – длина реза; φ – угол створа ножниц; $\sigma_{\text{ср}}$ – сопротивление срезу; $h_{\text{п}}$ – глубина вдавливания ножей к моменту скалывания; α – угол захвата дисковых ножниц (табл. 1.3).

Таблица 1.3 – Различные способы резки листовых материалов

Тип ножниц и схема	Рабочие элементы режущих инструментов	Основное применение
<p style="text-align: center;">1</p> <p>Гильотинные и рычажные</p> 	<p style="text-align: center;">2</p> <p>Угол створа: для гильотинных ножниц $\varphi = 2 \div 6^\circ$; для рычажных ножниц $\varphi = 7 \div 12^\circ$. Угол резания $\delta = 75 \div 85^\circ$, задний угол $\gamma = 2 \div 3^\circ$. Для упрощения заточки ножей допускается $\delta = 90^\circ$ и $\gamma = 0^\circ$. Зазор между ножами от 0,05 до 0,2 мм</p>	<p style="text-align: center;">3</p> <p>Резка листовых материалов на полосы или штучные заготовки. Толщина разрезаемого материала до 40 мм (в зависимости от типа ножниц)</p>
<p>Дисковые (с параллельными осями)</p> 	<p>Угол захвата $\alpha < 14^\circ$. Заход ножей $b = (0,2 \div 0,3)S$. Размеры ножей (дисков): для толстых материалов ($S > 10$ мм) $D = (25 \div 30)S$, $h = 50 \div 90$ мм; для тонких материалов ($S < 3$ мм) $D = (35 \div 40)S$, $h = 20 \div 25$ мм</p>	<p>Резка листов на полосы, а также резка круглых (дисковых заготовок) с выходом на край листа. Толщина разрезаемого материала до 30 мм (разные типы ножниц)</p>
<p>Дисковые (с наклонным нижним ножом)</p> 	<p>Угол наклона $\gamma = 30 \div 40^\circ$. Размеры ножей (дисков): для толстых материалов ($S > 10$ мм) $D = 20S$, $h = 50 \div 80$ мм; для тонких материалов ($S < 3$ мм) $D = 28S$, $h = 15 \div 20$ мм</p>	<p>Резка полос, круглых, дисковых и кольцевых заготовок. Толщина разрезаемого материала до 30 мм (разные типы ножниц)</p>
<p>Дисковые (с наклонными ножами)</p> 	<p>Зазор $a \leq 0,2S$; зазор $b \leq 0,3S$. Размеры ножей (дисков): для толстых материалов ($S > 10$ мм) $D = 12S$, $h = 40 \div 60$ мм; для тонких материалов ($S < 5$ мм) $D = 20S$, $h = 10 \div 15$ мм</p>	<p>Резка круглых, дисковых, кольцевых и криволинейных заготовок с малым радиусом, толщиной до 20 мм. Криволинейная поверхность задней режущей грани обеспечивает свободный поворот материала</p>

Окончание таблицы 1.3

1	2	3
<p>Многодисковые (с параллельными осями)</p> 	<p>Угол резания 90°. Размеры ножей: $D = (40 \div 125)S$, $h = 15 \div 30$ мм. Зазор $a = (0,1 \div 0,2)S$.</p>	<p>Для одновременной резки нескольких полос, а также обрезки полос и ленты по ширине. Толщина материала до 10 мм (разные типы ножниц)</p>
<p>Вибрационные</p> 	<p>Частота ходов $33-416 \text{ с}^{-1}$. Ход ножа 2-3 мм. Передний угол $\beta = 6 \div 7^\circ$. Угол створа $\varphi = 24 \div 30^\circ$.</p>	<p>Резка криволинейных заготовок по разметке или шаблонам с малым радиусом (до 15 мм). Толщина материала до 10 мм</p>
<p>Отрезные штампы</p> 	<p>Передний угол $\beta = 2 \div 3^\circ$. Угол створа $\varphi = 0^\circ$.</p>	<p>Резка полос на штучные заготовки</p>

1.3 Резание при вырубке и пробивке

Процесс резания при вырубке и пробивке аналогичен процессу резания на ножницах и также состоит из трех стадий: **упругой, пластической и скалывания**. Вдавливание пуансона происходит не по всей торцевой поверхности, лишь по кольцевому пояску шириной b (рис. 1.2). Вдавливание наблюдается и со стороны матрицы. Отпечатки от локализованного вдавливания пуансона и матрицы остаются на вырубленной детали и отходе в виде смятой полоски вдоль контура резания.

В процессе локализованного вдавливания пуансона в заготовку между кромками пуансона и матрицы возникает пара сил резания, вызывающая круговой изгибающий момент, под действием которого заготовка получает пространственный изгиб (выпучивание). В наружной (выпуклой) стороне заготовки возникает напряженное состояние двухосного растяжения, а на внутренней стороне – состояние двухосного сжатия.

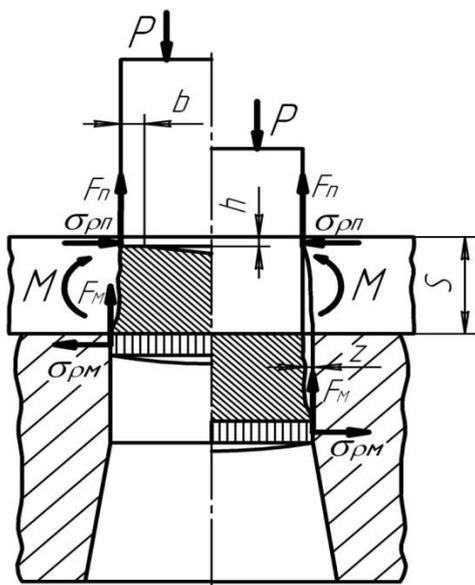


Рисунок 1.2 – Схема процесса вырубki и пробивки

В этой стадии величина напряжений в матрице ниже предела упругости. При дальнейшем деформировании, т. е. погружении пуансона в материал, упругие деформации переходят в пластические, сопровождающиеся разрушением поверхностных слоев. Стадия пластической деформации переходит в стадию сдвига с образованием скалывающихся трещин. Величина погружения пуансона до появления скалывающихся трещин h составляет

$$h = (0,25 \div 0,6)S. \quad (1.9)$$

Поверхность разделения состоит из блестящего пояска (зона среза) и шероховатой части (зона скалывания). Угол наклона скалывающихся трещин зависит от свойств материала и составляет 3–15°. Поэтому поверхность среза у вырубленной детали или пробитого отверстия имеет форму конуса.

Металлографические исследования макро- и микроструктуры вырубленных деталей показывают, что металл в зоне разделения претерпевает значительные структурные изменения и наклепывается. Глубина наклепанного слоя зависит от толщины материала, его свойств, величины зазора, качества режущих кромок, а также от скорости вырубki.

Усилие резания на протяжении рабочего хода изменяется, и максимальное значение соответствует окончанию стадии пластического деформирования

$$P_{max} = 0,58\sigma_b LS, \quad (1.10)$$

где σ_b – предел прочности; L – периметр реза; S – толщина.

При вырубке деталь (или заготовка) остается в матрице, а отход плотно охватывает пуансон. В результате упругих деформаций возникают контактные напряжения $\sigma_{рм}$ и $\sigma_{рп}$, которые при проталкивании детали сквозь матрицу и снятия отхода с пуансона вызывают возникновение сил трения.

В связи с этим при рабочем ходе пуансона необходимо преодолеть не только сопротивление вырубке-пробивке P_{max} , но и сопротивление сил трения F_m , возникающее при перемещении детали относительно матрицы, а также сопротивление сил трения F_n на контактной поверхности пуансона и отхода металла. Сумму сил F_m и F_n называют *усилием проталкивания* $P_{np} = F_m + F_{np}$, а силу F_n – *усилием снятия* $P_{cn} = F_n$.

На усилие проталкивания и снятия существенно влияют ширина перемычки между соседними отдельными контурами; форма и размеры штампуемого контура; зазор между пуансоном и матрицей; возможность перекоса отхода металла относительно пуансона и пр. Учёт влияния всех факторов вызывает определенные трудности, поэтому усилие проталкивания и снятия определяют по эмпирическим формулам

$$P_{np} = k_{np}P(h / S); \quad (1.11)$$

$$P_{cn} = k_{cn}P, \quad (1.12)$$

где k_{np} и k_{cn} – коэффициенты проталкивания и снятия; P – полное усилие вырубки (пробивки).

Значения коэффициентов в зависимости от толщины металла, числа одновременно штампуемых деталей, типа штампа составляют – $k_{np} = 0,05 \div 0,14$; $k_{cn} = 0,02 \div 0,20$.

1.4 Раскрой листового материала

Раскрой – это способ наиболее эффективного размещения заготовок в полосе или ленте относительно друг друга, а также кромок листа или полосы. Мерами эффективности раскроя являются: коэффициент использования металла k_{um} , представляющий собой отношение массы детали к норме расхода металла на ее изготовление, и коэффициент раскроя k_{ra} , равный отношению массы деталей, полученных из одного листа к массе листа. Если коэффициент раскроя k_{ra} зависит от формы внешнего контура деталей и их взаимного расположения, то коэффициент использования металла k_u зависит еще и от наличия в детали отверстий. Коэффициент использования металла – главный показатель, определяющий как эффективность использования металла, так и технологичность конструкции детали.

Существуют три вида раскроя листового материала: с отходами, малоотходный и безотходный.

При раскрое с отходами заготовку получают вырубкой по замкнутому контуру. Между заготовками, а также между заготовками и кромкой полосы оставляют перемычки. Ширина перемычки зависит от толщины материала, механических свойств, длины прямолинейных участков, конструкции штампов. Ширину перемычек определяют по специальным таблицам.

Малоотходный раскрой характеризуется отсутствием боковых перемычек. При этом ширина полосы должна быть равна ширине заготовки.

Безотходный раскрой применяют при штамповке деталей, контур которых сопрягается друг с другом. При безотходном раскрое перемычки отсутствуют.

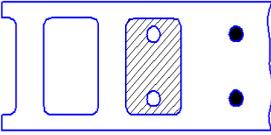
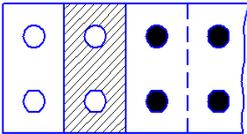
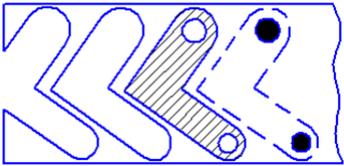
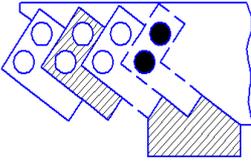
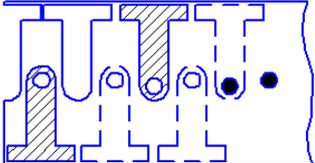
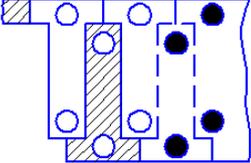
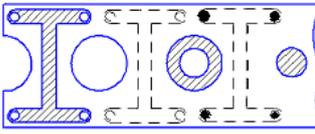
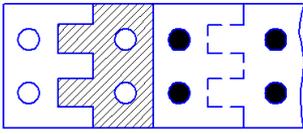
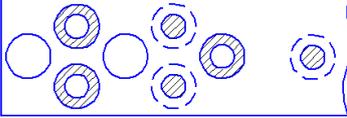
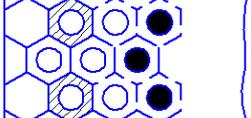
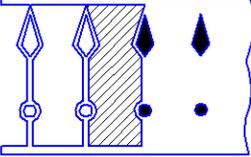
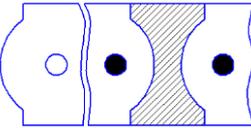
При малоотходном и безотходном раскрое происходит отрезка по незамкнутому контуру. Это приводит к снижению стойкости инструмента в связи с тем, что изгибающие моменты и распорные усилия взаимно не уравниваются. В результате пуансон штампа может смещаться, что неизбежно приведет к увеличению зазора с одной стороны и уменьшению с другой. Увеличение зазора приводит к образованию торцевого заусенца, а уменьшение зазора – к росту усилий на рабочих кромках пуансона и матрицы, и в результате изнашивание кромок происходит более интенсивно.

Различают шесть основных типов раскроя (табл. 1.4). Прямой раскрой применяют при штамповке деталей простой геометрической формы – прямоугольной, овальной; наклонный раскрой применяют при штамповке Г-образных заготовок или схожих; встречный раскрой – при штамповке Т-образных заготовок; комбинированный раскрой – при штамповке заготовок разной формы, но одинаковой толщины; многорядный раскрой – при штамповке мелких заготовок; раскрой с вырезкой перемычек применяется при штамповке узких заготовок.

Возможность применения многорядной штамповки мелких деталей определяется масштабом производства и экономической целесообразностью. Последняя устанавливается путем нахождения минимального количества деталей, при котором увеличение затрат на многорядные штампы покрывается экономией на себестоимости деталей.

Если условно принять стоимость однорядного штампа за единицу, то стоимость трехрядного штампа для деталей простой формы возрастает в 1,5–1,7 раза, а пятирядного штампа в 1,8–2,2 раза. Для деталей сложной формы стоимость штампов соответственно возрастает в 1,8–2,4 и 2,5–3,5 раза.

Таблица 1.4 – Основные типы раскроя

Тип раскроя и эскиз		Применение раскроя
Прямой		
		Для деталей простой геометрической формы (прямоугольной, круглой, квадратной)
Наклонный		
		Для деталей Г-образной или другой сложной конфигурации, которые при прямом расположении дают большие отходы металла
Встречный		
		Для деталей Т-, П-, Ш-образной конфигурации, которые при прямом и наклонном расположении дают большие отходы
Комбинированный		
		Для двух различных деталей, одинаковых по толщине и марке металла, в крупносерийном и массовом производствах
Многорядный		
		Для деталей небольших размеров в крупносерийном и массовом производстве
С вырезкой перемычек		
		Для мелких и узких деталей (часовые стрелки и подобные детали) или для последовательной вытяжки в ленте при крупносерийном и массовом производствах

1.5 Проектирование плоских листоштампованных заготовок.

Задание 1

Цель задания – освоить методику и приобрести навыки проектирования плоских заготовок, получаемых вырубкой-пробивкой из полосы.

Содержание задания:

– изучить рекомендации и требования, предъявляемые к плоским заготовкам;

– по варианту индивидуального задания оценить технологичность изделия, скорректировать форму, в соответствии с рекомендациями назначить размеры и выполнить чертеж с соблюдением требований ЕСКД.

При проектировании плоских деталей необходимо создать такую конструкцию заготовки, которая отвечает условиям технологичности, т. е. наиболее простого ее изготовления при условии соблюдения технических и эксплуатационных требований, предъявляемых к детали.

Конфигурация изделия должна состоять из простых геометрических фигур. При этом вершины углов, узкие прорезы, выступы должны плавно сопрягаться (рис. 1.3). Необходимость плавных сопряжений обусловлена интенсивным износом поверхностей матрицы и пуансона, а значит и увеличением зазора в первую очередь на заостренных участках. В этих местах образуются заусенцы, для устранения которых необходимы дополнительные технологические операции. Рекомендуемые конструктивные соотношения размеров элементов изделия приведены в таблице 1.5.

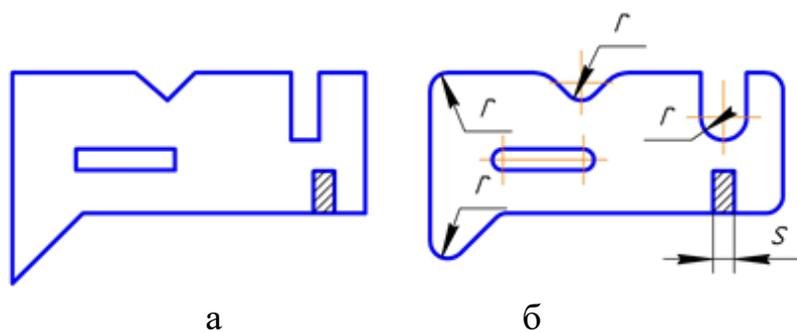


Рисунок 1.3 – Нерекондуемые (а) и рекомендуемые (б) сопряжения геометрических элементов контура изделий

Стойкость пуансонов зависит от их размеров и ограничивается минимальными размерами пробиваемых отверстий, которые назначаются в соответствии с рекомендациями (табл. 1.6, рис. 1.4).

Таблица 1.5 – Соотношение размеров геометрических элементов изделий, изготавливаемых вырубкой-пробивкой

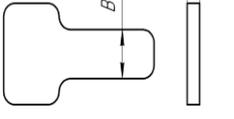
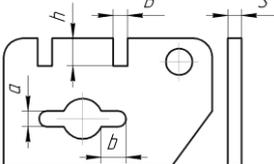
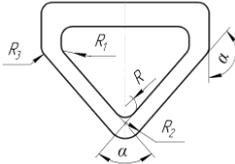
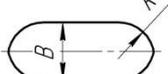
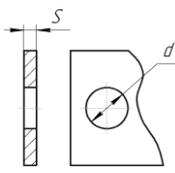
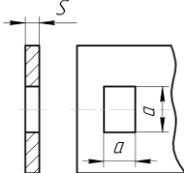
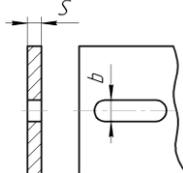
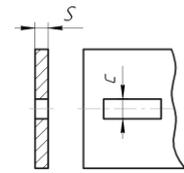
Наименьшая ширина детали	Наименьшие размеры пазов и окон	Радиусы скругления		Скругление контура
		наружный контур	внутренний контур	
				
$B \geq 1,5S$	$B \geq 1,5S$ $h \geq 1,5S$	При $\alpha \geq 90^\circ$ $R_3 \geq 0,25S$; при $\alpha \leq 90^\circ$ $R_2 \geq 0,5S$	При $\alpha \geq 90^\circ$ $R_1 \geq 0,35S$; при $\alpha \leq 90^\circ$ $R \geq 0,6S$	$R \geq 0,6B$

Таблица 1.6 – Минимальные размеры (мм) пробиваемых отверстий

Материал				
Сталь: $\sigma_{св} \leq 50 \text{ кГ/мм}^2$ $50 \leq \sigma_{св} \leq 70 \text{ кГ/мм}^2$ $\sigma_{св} \geq 70 \text{ кГ/мм}^2$ Латунь, медь Алюминий, цинк Титановый сплав: в холодном состоянии в нагретом	1,0S 1,3S 1,5S 0,9S 0,8S 2,0S 1,0S	0,9S 1,2S 1,3S 0,8S 0,7S 1,75S 0,75S	0,7S 0,9S 1,1S 0,65S 0,6S 1,75S 0,75S	0,8S 1,0S 1,2S 0,7S 0,6S 1,75S 0,75S

Точность и шероховатость элементов заготовок, полученных на разделительных штампах, зависят от толщины материала и номинальных размеров (табл. 1.7–1.10).

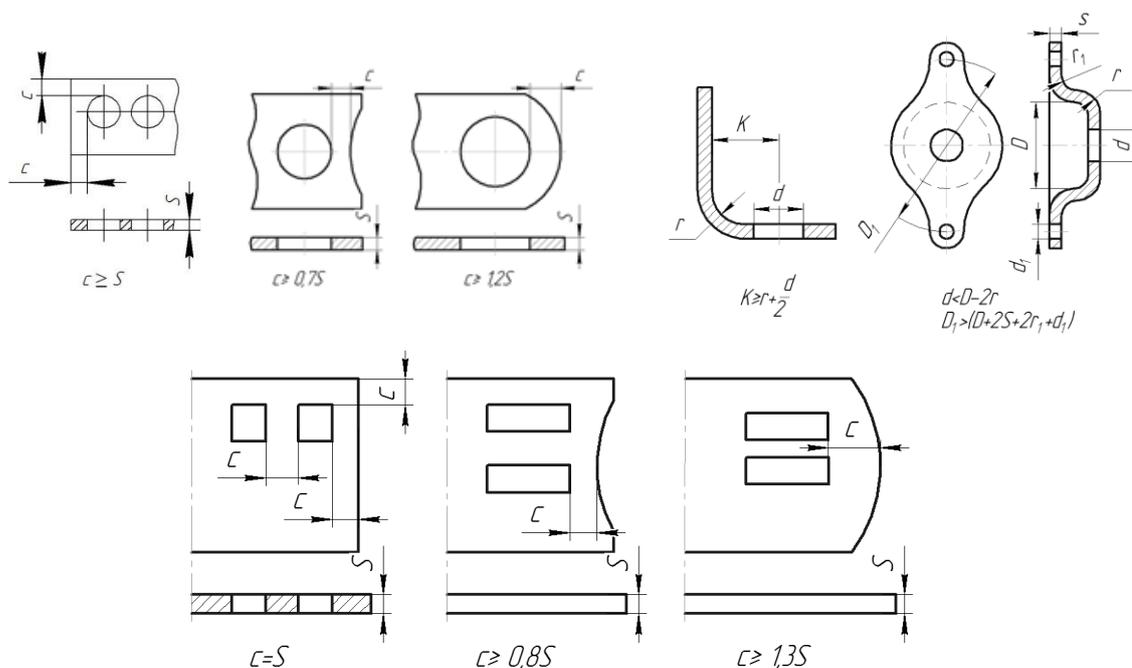


Рисунок 1.4 – Минимальные расстояния между пробиваемыми отверстиями и краем детали

Таблица 1.7 – Допустимые отклонения (мм) размеров внешнего контура в зависимости от толщины S заготовки

S , мм	Размеры внешнего контура, мм	
	до 50	св. 50 до 120
$0,2 < S \leq 0,5$	$\pm 0,10$	$\pm 0,15$
$0,5 < S \leq 1,0$	$\pm 0,15$	$\pm 0,20$
$1,0 < S \leq 2,0$	$\pm 0,20$	$\pm 0,30$
$2,0 < S \leq 3,0$	$\pm 0,30$	$\pm 0,40$

Таблица 1.8 – Допустимые отклонения межосевых расстояний (мм) пробитых отверстий в зависимости от толщины S заготовки

S , мм	Размеры межосевых расстояний, мм	
	до 120	св. 120 до 220
$S \leq 2$	$\pm 0,15$	$\pm 0,20$
$2 < S \leq 4$	$\pm 0,20$	$\pm 0,25$
$S > 4$	$\pm 0,25$	$\pm 0,30$

Таблица 1.9 – Допустимые отклонения (мм) размеров отверстий после пробивки-вырубки в зависимости от толщины S заготовки

S , мм	Диаметр отверстия, мм		
	до 10	св. 10 до 50	св. 50 до 100
$S \leq 2$	+0,06	+0,08	+0,10
$2 < S \leq 4$	+0,08	+0,10	+0,12
$S > 4$	+0,10	+0,12	+0,14

Таблица 1.10 – Допустимая шероховатость поверхности среза после пробивки-вырубки в зависимости от толщины S заготовки

S , мм	$S \leq 1$	$1 < S \leq 2$	$2 < S \leq 3$	$3 < S \leq 4$
R_z , мкм	10...20	20...40	40...80	80...100

Точность размеров зависит от способа вырубки-пробивки и конструкции штампов (табл. 1.11).

Таблица 1.11 – Качество точности при различных способах вырубки и пробивки

Толщина материала, мм	Группа точности	Номинальный размер изделия, мм							
		1–3	3–6	6–10	10–18	18–30	30–50	50–80	80–120
До 1	1	7/7	7/7	7/7	7/9	7/9	–	–	–
	2	7/9	8/9	8/9	8/9	8/9	8/9	–	–
	3	10/11	10/11	10/11	10/11	10/11	10/11	–	–
1–2	1	7/7	7/7	7/7	7/9	7/9	–	–	–
	2	9/11	9/11	9/11	10/11	10/11	10/11	10/11	10/11
	3	11/11	11/11	11/13	11/13	11/13	11/13	13/13	13/13
2–4	1	7/7	7/7	7/7	7/9	8/9	–	–	–
	2	10/11	11/11	11/11	11/11	11/11	11/11	11/11	11/11
	3	11/13	11/13	13/13	13/13	13/13	13/13	13/13	13/13

Примечание: Группы точности: 1 – обеспечивается чистой вырубкой и пробивкой; 2 – обеспечивается совмещенными штампами с прижимом; 3 – обеспечивается однооперационными штампами последовательного действия.

В числителе – точность при вырубке, в знаменателе – при пробивке.

Простановка размеров

Плоское изделие с отверстиями можно получить тремя способами: вырубкой с последующей пробивкой (фиксация по наружному контуру исходной полосы); пробивкой с последующей вырубкой (фиксация по наружному контуру исходной полосы и пробитым отверстиям); вырубкой с одновременной пробивкой в совмещенном штампе. В первых двух случаях простановка размеров на

детали от баз обязательна. Базами для простановки размеров являются поверхности наружного контура детали – в первом случае (рис. 1.5 а), поверхности пробиваемых отверстий – во втором случае, в третьем случае вырубка наружного контура и пробивка отверстий осуществляются одновременно и базами для простановки размеров могут быть как поверхности наружного контура детали, так и поверхности пробиваемых отверстий (рис. 1.5 б).

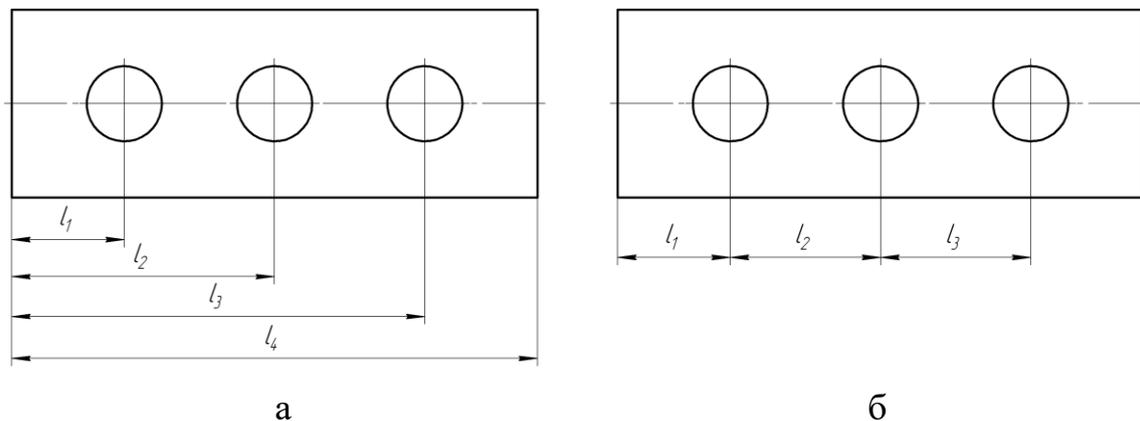


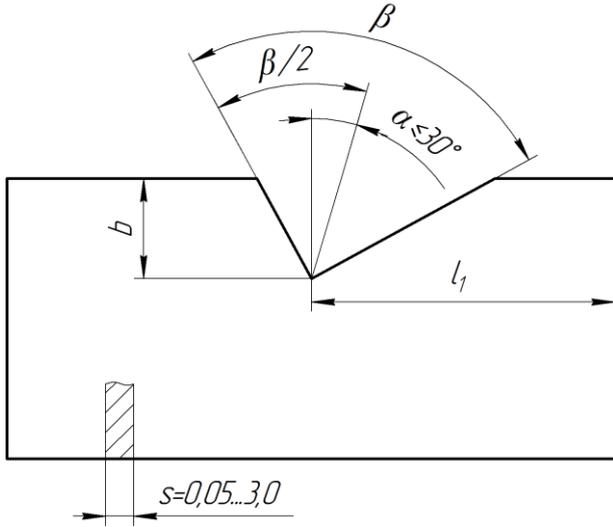
Рисунок 1.5 – Схемы простановки размеров:
 а – при фиксации изделия по наружному контуру полосы;
 б – фиксация изделия по ранее пробитому отверстию

Допустимая шероховатость поверхностей среза прямоугольного паза в зависимости от толщины заготовки и его размеров приведена в таблице 1.12, размеры углового паза – в таблице 1.13.

Таблица 1.12 – Допустимая шероховатость поверхности среза после пробивки-вырубки в зависимости от толщины S заготовки и размеров паза

$S, мм$	$Rz, мкм$	$b, мм$	$l, мм$
		Не более	
От 0,05 до 0,5	1,0; 1,2; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,0; 16,0; 20,0; 25,0	63	130
От 0,5 до 3,0	2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,0; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0; 50,0; 63,0	120	400

Таблица 1.13 – Размеры углового паза

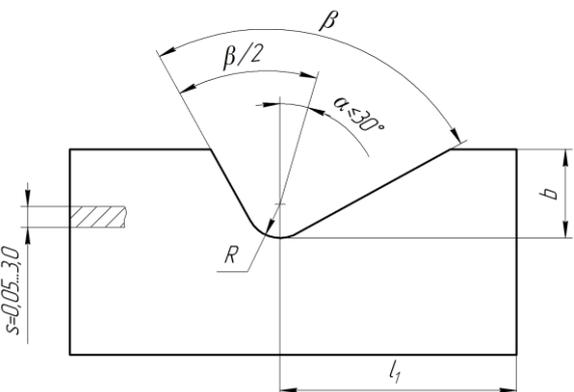


$\beta, ^\circ$	b , мм, не более							
15	2,5	4,0	6,3	10,0	16,0	25,0	–	–
30	2,5	4,0	6,3	10,0	16,0	25,0	40,0	–
45	2,5	4,0	6,3	10,0	16,0	25,0	40,0	63,0
60	2,5	4,0	6,3	10,0	16,0	25,0	40,0	63,0
75	2,5	4,0	6,3	10,0	16,0	25,0	40,0	–
90	2,5	4,0	6,3	10,0	16,0	25,0	–	–

Размер l_1 не должен превышать 120 мм – при толщине материала от 0,05 до 0,5 мм и 340 мм – при толщине материала от 0,5 до 3,0 мм.

Радиусы скруглений должны соответствовать значениям, приведенным в таблицах 1.14–1.16, и выбираются конструктивно при увеличении толщины обрабатываемой заготовки S и размера b .

Таблица 1.14 – Радиусы скруглений углового паза



b	R			
2,5	1,6	2,5		
4,0	1,6	2,5	4,0	
6,3	1,6	2,5	4,0	6,3
10,0	2,5	4,0	6,3	10,0
16,0	4,0	6,3	10,0	16,0
25,0	6,3	10,0	16,0	25,0
40,0	10,0	16,0	25,0	40,0
63,0	16,0	25,0	40,0	63,0

Таблица 1.15 – Радиусы скруглений угла

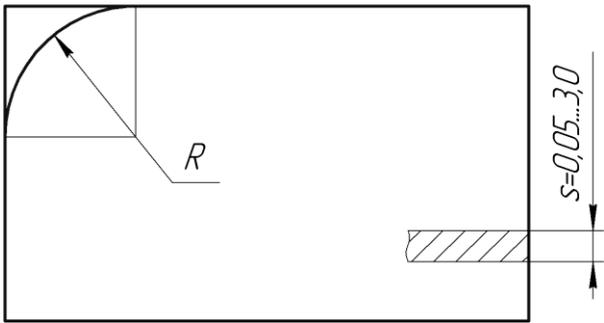
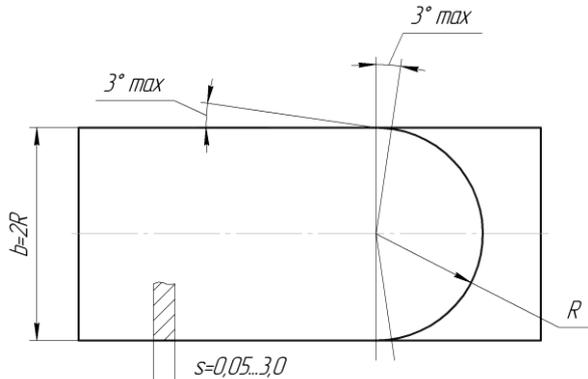
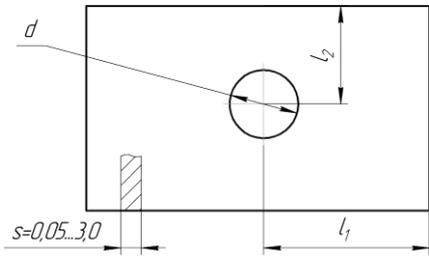
	S	R
	От 0,05 до 2,0	1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,6; 4,0; 4,5; 5,0; 5,6; 6,0; 7,1; 8,0; 9,0; 10,0; 11,0; 12,0; 14,0; 16,0
	От 2,0 до 3,0	3,0; 3,6; 4,0; 4,5; 5,0; 5,6; 6,0; 7,1; 8,0; 9,0; 10,0; 11,0; 12,0; 14,0; 16,0

Таблица 1.16 – Радиусы скруглений сторон

	S	R
	От 0,05 до 2,0	1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,6; 4,0; 4,5; 5,0; 5,6; 6,0; 7,1; 8,0; 9,0; 10,0; 11,0; 12,0; 14,0; 16,0
	От 2,0 до 3,0	3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 12,0; 16,0

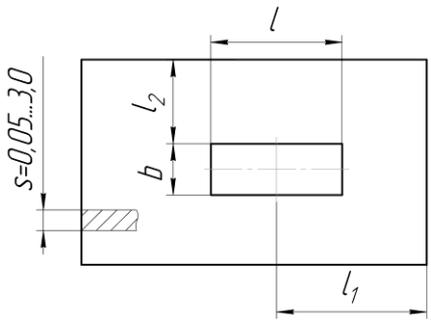
Размеры круглых отверстий и их координаты должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 1.17.

Таблица 1.17 – Значения диаметра отверстия и его координаты

	S	d		l₁	l₂
	От 0,05 до 0,50	1,0; 1,1; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,4; 2,6; 2,8; 3,0; 3,2; 3,4; 3,6; 3,8; 4,0; 4,2; 4,5; 4,8; 5,0; 5,3; 5,6; 6,0; 6,3; 6,7; 7,1; 7,5; 8,0; 8,5; 9,0; 9,5; 10,0; 10,5; 11,0; 11,5; 12,0; 13,0; 14,0; 15,0; 16,0; 17,0; 18,0; 19,0; 20,0; 21,0; 22,0; 24,0; 25,0; 26,0; 28,0; 30,0		20	3

Размеры прямоугольных отверстий и их координаты приведены в таблице 1.18.

Таблица 1.18 – Размеры прямоугольного отверстия и его координаты

	s	l	b	l_1	l_2
				Не более	
	От 0,05 до 0,50	3,2	3,2; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,0; 16,0; 20,0	120	63
		4,0			
		5,0			
		6,3			
		8,0			
		10,0			
	12,0	5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,0; 16,0; 20,0			
	16,0	6,3; 8,0; 10,0; 12,0; 16,0; 20,0			
	20,0	8,0; 10,0; 12,0; 16,0; 20,0			
	25,0	10,0; 12,0; 16,0			
	От 0,50 до 3,00	3,2	3,2; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0	340	105
		4,0	3,2; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,0		
		5,0	3,2; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,0; 16,0		
		6,3	3,2; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,0; 16,0; 20,0		
8,0		3,2; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,0; 16,0; 20,0; 25,0			
10,0		4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,0; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0			
12,0		5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,0; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0			
16,0		6,3; 8,0; 10,0; 12,0; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0; 50,0			
20,0		8,0; 10,0; 12,0; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0; 50,0; 63,0;			
25,0		10,0; 12,0; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0; 50,0; 63,0			
32,0		12,0; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0; 50,0			
40,0		12,0; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0; 50,0			
50,0		16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0			
63,0		20,0; 25,0; 32,0			

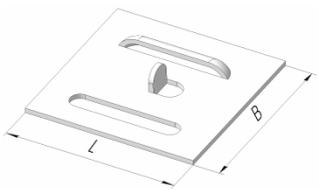
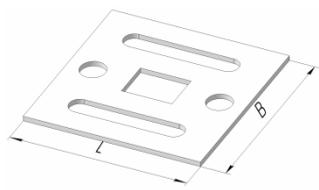
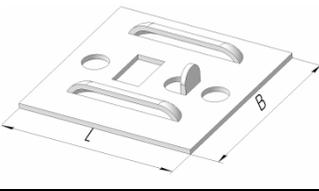
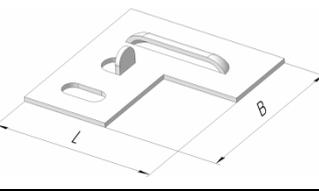
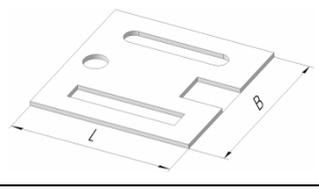
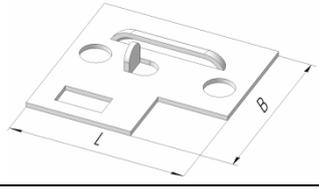
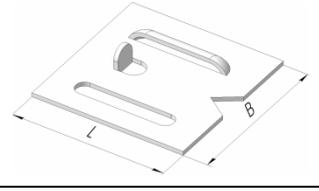
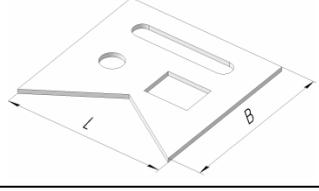
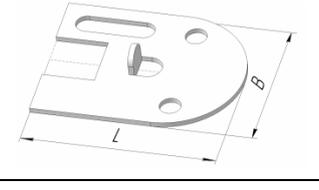
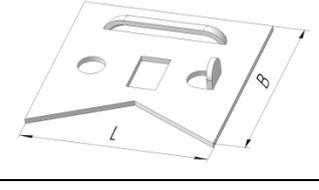
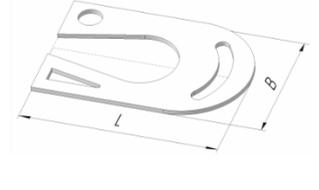
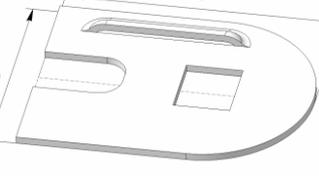
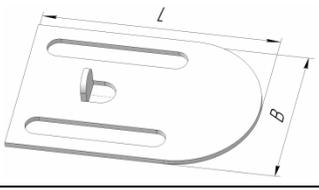
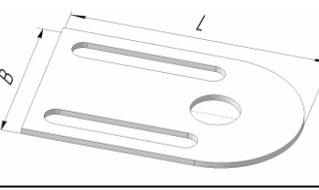
Размеры овального и фигурного отверстий должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 1.19.

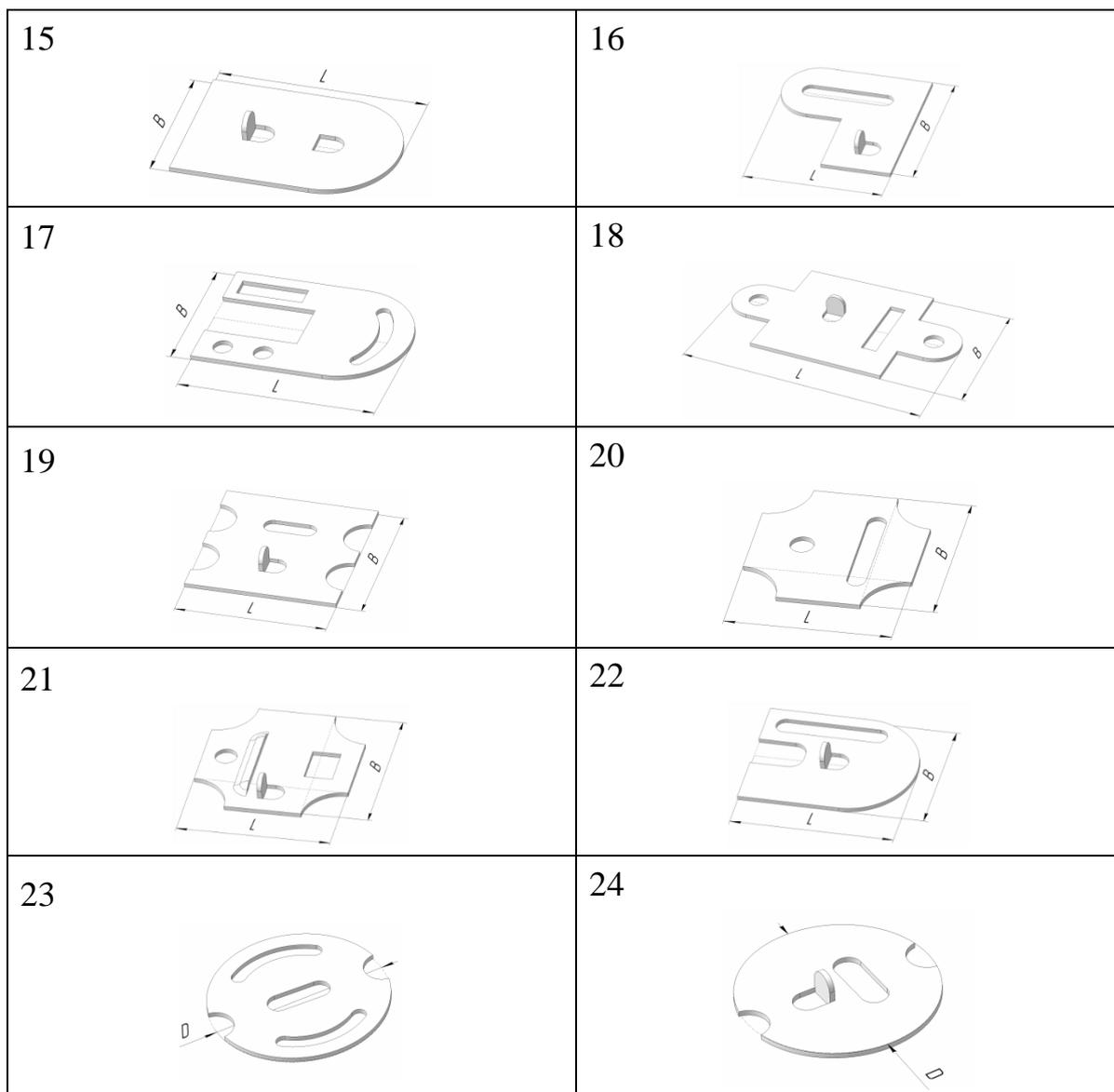
Таблица 1.19 – Размеры овального и фигурного отверстий

The image shows two technical drawings of holes in a rectangular plate. The top drawing shows an oval hole with width b , length l , and a radius $R^* = b/2$. The distance from the hole's center to the right edge is l_1 , and the hole's height is l_2 . A dimension $s = 0,05 \dots 3,0$ is shown for the hole's position. The bottom drawing shows a keyhole hole with a circular head of diameter b and a stem of length l . The stem has a radius $R^* = b/2$. The distance from the hole's center to the right edge is l_1 , and the hole's height is l_2 . The distance from the hole's center to the left edge is $l/2$. A dimension $s = 0,05 \dots 3,0$ is also shown for the hole's position.

b	d					
3,2	5,0	6,3	7,1	8,0	10,0	12,0
3,6	6,3	7,1	8,0	10,0	12,0	16,0
4,0	7,1	8,0	10,0	12,0	16,0	—
4,5	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	—
5,0	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	25,0
5,6	10,0	12,0	16,0	20,0	25,0	—
6,3	10,0	12,0	16,0	20,0	25,0	—
7,1	12,0	16,0	20,0	25,0	—	—
8,0	12,0	16,0	20,0	25,0	—	—
10,0	16,0	20,0	25,0	—	—	—
12,0	20,0	25,0	—	—	—	—

Варианты к заданию 1

1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	



№	L, мм	B, мм	№	L (D), мм	B, мм
1	105	75	13	120	85
2	90	85	14	115	80
3	105	80	15	120	75
4	100	85	16	100	80
5	90	85	17	125	70
6	95	80	18	120	75
7	95	85	19	100	100
8	90	85	20	100	100
9	125	85	21	100	100
10	100	80	22	100	80
11	120	70	23	100	—
12	125	80	24	110	—

S* – толщина деталей выбирается в соответствии с сортаментом листового и полосового проката

1.6 Гибка листового материала

Объём гибочных работ непрерывно увеличивается за счёт новых принципов конструирования и технологии изготовления машин и приборов. Литые и кованные заготовки вытесняются штампованными, изготавливаемыми из гнутых элементов; профильный прокат заменяется заготовками, получаемыми посредством гибки полосы или ленты; вырубка колец большого размера заменяется гибкой полос на ребро и т. д.

В зависимости от размеров и формы детали, профиля исходной заготовки, характера производства, гибка осуществляется на кривошипных, эксцентриковых, фрикционных, гидравлических прессах или на специальных гибочных и профилирующих станках. В машиностроении наиболее часто выполняют гибку в штампах, установленных на кривошипных прессах.

Гибка осуществляется в результате действия на заготовку сил P и Q со стороны пуансона и матрицы (рис. 1.6). Силы P и Q образуют изгибающий момент. В процессе гибки внутренние слои заготовки сжимаются и укорачиваются в продольном направлении, а в поперечном – удлиняются.

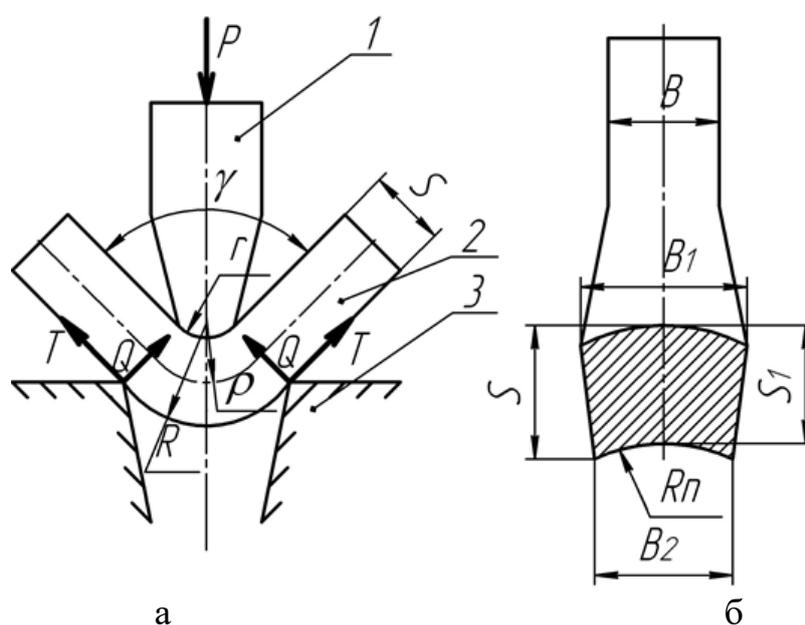


Рисунок 1.6 – Схема действия сил (а) и деформации заготовки (б) при изгибе: 1 – пуансон; 2 – заготовка; 3 – матрица

Наружные слои, наоборот, растягиваются и удлиняются в продольном направлении и сжимаются в поперечном направлении. После гибки форма и размеры поперечного сечения заготовок

изменяются. Изменения поперечного сечения заготовки тем больше, чем меньше радиус изгиба. Это происходит вследствие того, что пластическая деформация в окружном направлении в соответствии с условиями постоянства объёма сопровождается пластическими деформациями обратного знака в одном или двух взаимно перпендикулярных направлениях: радиальном и аксиальном. В результате гибки заготовок, имеющих соизмеримую ширину B относительно толщины S , сечение деформируется (рис. 1.6).

Происходит некоторое увеличение ширины B_1 , уменьшение ширины B_2 и образование поперечной кривизны радиусом R_n . Если выпучивание сторон недопустимо, необходимо предусмотреть механическую обработку для устранения искажения формы.

Изменение толщины и ширины заготовки учитывается коэффициентами сужения α и уширения β

$$\alpha = \frac{S_1}{S}, \beta = \frac{B_{cp}}{B}, \quad (1.13)$$

где S и S_1 – толщина заготовки до и после гибки; B – начальная ширина заготовки; B_{cp} – средняя ширина заготовки после гибки

$$B_{cp} = \frac{B_1 + B_2}{2}, \quad (1.14)$$

где B_1 и B_2 – соответственно ширина заготовки по внутренней и наружной кромкам в месте изгиба.

Между растянутыми и сжатыми слоями находится нейтральный слой, который претерпевает изгиб, причём не изменяет первоначальной длины. Нейтральный слой в зависимости от величины отношения внутреннего радиуса изгиба к толщине заготовки (r/S) смещается в сторону внутренних слоев. Радиус кривизны нейтрального слоя заготовок прямоугольного сечения может быть определён и учтён при определении длины исходной заготовки, которую получают перед гибкой.

Для расчёта длины заготовок (развёрток) необходимо:

- разбить контур детали на элементы, представляющие собой отрезки прямой и части окружности;
- определить положение нейтрального слоя в зоне деформации, который сохраняет свою длину неизменной после гибки;
- просуммировать длины этих отрезков.

Длины прямых участков суммируются без изменения, а длины криволинейных участков – с учётом деформации материала и соответствующего смещения нейтрального слоя. Максимально

допустимый радиус гибки, при котором изогнутость заготовки сохраняется, определяется по формуле

$$r_{max} = \varepsilon S / 2\sigma_T, \quad (1.15)$$

где ε – модуль упругости; σ_T – предел текучести.

Наиболее целесообразно при расчёте развёрток использовать возможности современных систем автоматизированного проектирования (САД систем), с помощью которых такой расчёт выполняется в автоматическом режиме.

Минимально допустимые радиусы гибки должны соответствовать пластичности материала и не допускать образования трещин. Минимальные радиусы гибки устанавливаются по предельно допустимым деформациям крайних волокон. Величину деформаций крайних волокон определяют по формулам, учитывающим утонение материала и смещение нейтрального слоя.

Для растянутого наружного слоя радиуса R

$$\varepsilon_R = \frac{\frac{r}{\alpha S} + 1}{\frac{r}{S} + \frac{\alpha}{2}} - 1; \quad \psi_R = 1 - \frac{\frac{r}{S} + \frac{\alpha}{2}}{\frac{r}{\alpha S} + 1}; \quad (1.16)$$

для сжатого внутреннего слоя радиуса r

$$\varepsilon_r = \frac{\frac{r}{S} + \frac{\alpha}{2}}{\frac{r}{\alpha S}} - 1; \quad \psi_r = 1 - \frac{\frac{r}{\alpha S}}{\frac{r}{S} + \frac{\alpha}{2}}; \quad (1.17)$$

где ε – полное относительное удлинение, тождественное наибольшему относительному удлинению в шейке образца при растяжении; ψ – относительное сужение поперечного сечения.

1.7 Изогнутые листоштампованные заготовки. Задание 2

Цель задания – освоить методику и приобрести навыки проектирования изогнутых заготовок, получаемых гибкой исходных плоских заготовок.

Содержание задания:

– изучить рекомендации и требования, предъявляемые к изогнутым заготовкам;

– ознакомиться с методикой расчёта размеров исходной плоской заготовки (развёртки);

– по варианту индивидуального задания оценить технологичность развёртки и изогнутой заготовки; при необходимости выполнить корректировку формы изделий, рассчитать размеры развёртки, выполнить чертежи развёртки и изогнутой заготовки с соблюдением требований ЕСКД.

Технологичность изогнутых деталей

Минимальные радиусы гибки преимущественно зависят от следующих факторов: толщины материала; механических свойств материала; угла гибки; направления линии гибки относительно направлений волокон проката. Минимально допустимый радиус гибки определяется по формуле

$$R_{min} = K \cdot S, \quad (1.18)$$

где S – толщина материала; K – коэффициент, зависящий от механических свойств материала (табл. 1.20).

Таблица 1.20 – Числовые значения коэффициента K

Металл	Отожженный или нормализованный металл		Наклёпанный металл	
	Расположение линии сгиба			
	Поперёк волокон проката	Вдоль волокон проката	Поперёк волокон проката	Вдоль волокон проката
	Коэффициент K			
Алюминий	–	–	0,3	0,8
Медь отожженная	–	–	1,0	2,0
Латунь Л68	–	0,2	0,4	0,8
Сталь 0,5; 08кп	–	–	0,2	0,5
Сталь Ст. 2	–	0,4	0,4	0,8
Сталь 15; 20; Ст. 3	0,1	0,5	0,4	0,8
Сталь 25; 30; Ст. 4	0,2	0,6	0,5	1,0
Сталь 35; 40; Ст. 5	0,3	0,8	0,6	1,2
Сталь 45; 50; Ст. 6	0,5	1,0	0,8	1,5
Сталь 55; 60; Ст. У7	0,7	1,3	1,0	1,7
Сталь 30ХГСА	–	–	1,5	4,0
Сталь жаропрочная	–	–	1,3	2,0
Сталь нержавеющая	–	–	2,5	6,5
Дюралюминий мягкий	1,0	1,5	1,5	2,5
Дюралюминий твердый	2,0	3,0	3,0	4,0

Минимальные радиусы гибки следует применять лишь в случае крайней конструктивной необходимости; во всех остальных случаях

рекомендуется применять радиусы гибки: $R \geq S$ для материалов толщиной до 1,5 мм; $R \geq 2S$ для материалов толщиной свыше 1,5 мм.

Длина отгибаемой части изделия должна быть не менее двух толщин материала. Если конструктивная длина отгибаемой полки короче рекомендуемой величины, полка отгибается более длинной, а затем обрезается.

Для предотвращения искривлений формы отверстий, расположенных близко к линии изгиба, необходимо расстояние от центра радиуса изгиба до края пробитого отверстия принимать не менее двух толщин $a < 2S$ (рис. 1.7 а). В противном случае пробивку отверстия необходимо осуществлять после гибки, или предусматривать дополнительные технологические отверстия, предотвращающие утяжку (рис. 1.7 б).

Во избежание трещин в углах при гибке выступов линию гибки нужно смещать от углов на величину не менее радиуса гибки (рис. 1.8 а) или выполнять технологические местные вырезы (рис. 1.8 б–в).

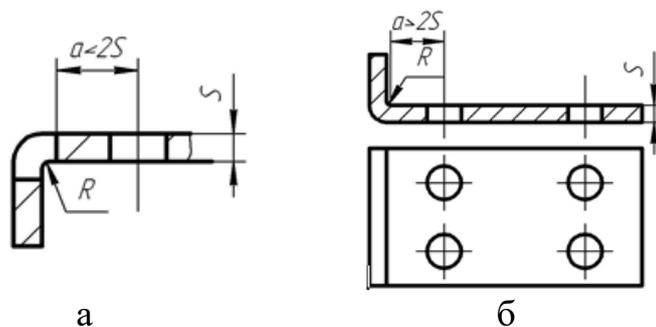


Рисунок 1.7 – Схемы расположения отверстий в гнутых изделиях:
а – при значении $a < 2S$; б – при $a > 2S$

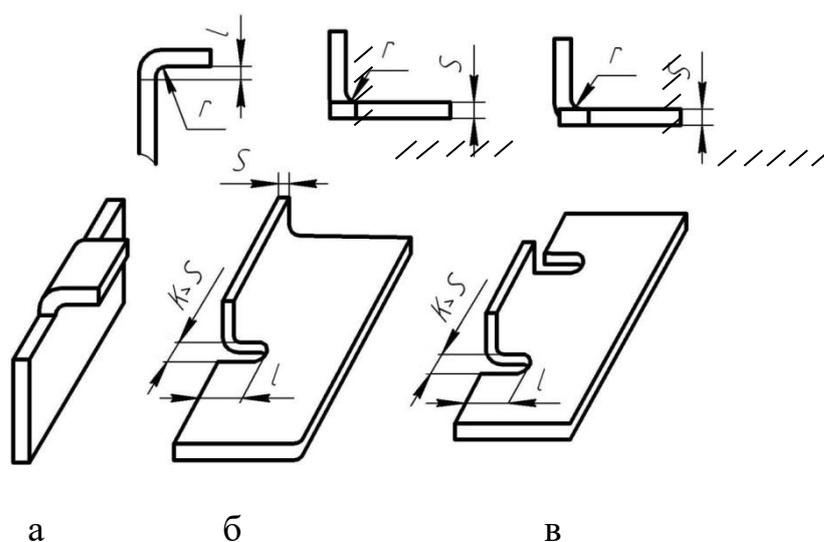


Рисунок 1.8 – Схемы расположения выступов в гнутых изделиях:
а – при $l \geq r$; б – при $l = S + r + K/2$; в – при $l = r + K/2$

Угол между линией контура и линией сгиба должен быть равен 90° . В противном случае происходит искривление (отклонение от плоскости) отгибаемой полки (рис. 1.9 а), которого можно избежать, используя конструктивное исполнение сгиба, приведенное на рисунке 1.9 б.

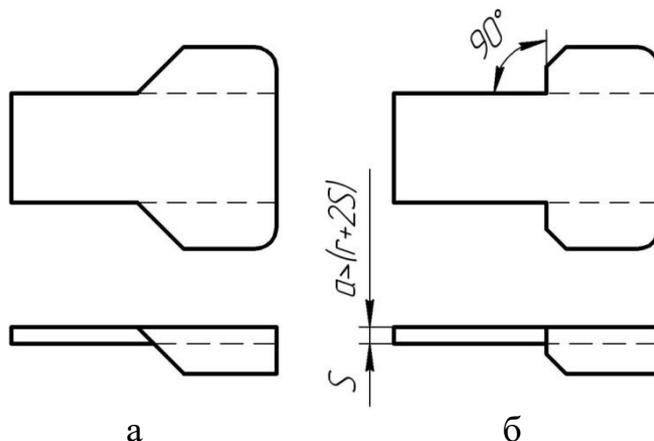


Рисунок 1.9 – Схемы конструкций гнутых изделий:
а – неправильная; б – правильная

Отклонения линейных и угловых размеров назначаются двухсторонними симметричными (табл. 1.21).

Таблица 1.21 – Числовые значения линейных отклонений на отгибаемые полки

Толщина материала, мм	Отклонения по размерам, мм			
	<i>a</i>	<i>h</i>	<i>H</i>	<i>c</i>
До 1	$\pm 0,7$	$\pm 0,5$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$
Свыше 1 до 2	$\pm 1,0$	$\pm 0,7$	$\pm 0,4$	$\pm 0,6$
Свыше 2 до 3	$\pm 1,2$	$\pm 1,0$	$\pm 0,6$	$\pm 0,8$
Свыше 3 до 4	$\pm 1,5$	$\pm 1,2$	$\pm 0,8$	$\pm 1,0$
Свыше 4 до 6	$\pm 2,0$	$\pm 1,0$	$\pm 1,0$	$\pm 1,2$

Расчёт длины развёртки заготовки

В процессе гибки слои изделия, примыкающие к пуансону (внутренние), сжимаются и укорачиваются, а слои изделия, примыкающие к матрице (наружные), – наоборот, растягиваются и удлиняются. Между внутренними сжатыми и внешними растянутыми слоями находится нейтральный слой, который претерпевает изгиб, но не

изменяет первоначальной длины. Радиус кривизны нейтрального слоя определяется по формуле

$$R = r + \chi \cdot S, \quad (1.19)$$

где r – внутренний радиус; S – толщина материала; χ – коэффициент утонения, зависящий от внутреннего радиуса гибки и толщины материала (табл. 1.22).

Таблица 1.22 – Зависимость коэффициента утонения χ от отношения r/S

Отношение r/S	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2
Коэффициент χ	0,323	0,340	0,356	0,367	0,379	0,389	0,400	0,418	0,421	0,426
Отношение r/S	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
Коэффициент χ	0,441	0,455	0,463	0,469	0,477	0,480	0,485	0,490	0,495	0,500

При завивке шарниров (петель) вследствие активного действия сил трения коэффициент утонения определяют по таблице 1.23.

Таблица 1.23 – Значения коэффициента утонения χ при гибке изделий, подвергаемых действию сил трения

Отношение r/S	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2
Коэффициент χ	0,56	0,54	0,52	0,51	0,50	0,50	0,50

Для расчёта длины заготовки (развёртки) необходимо выполнить следующие действия.

1. Разбить контур изделия на элементы, представляющие собой отрезки прямой и дуги окружности (рис. 1.10).

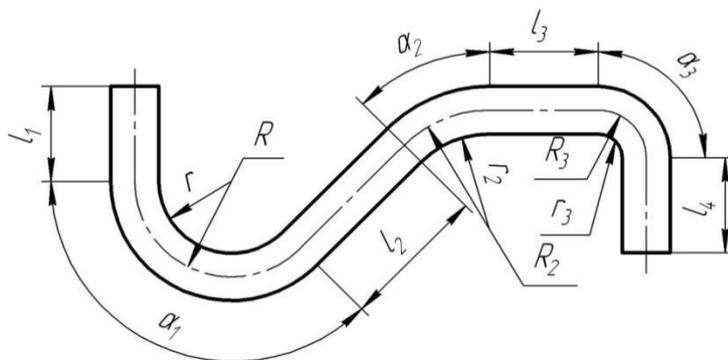


Рисунок 1.10 – Схема разделения изделия на элементы для определения длины развёртки

2. Определить радиусы нейтрального слоя.
 Длину развертки определяют по формуле

$$l_3 = \sum_{i=1}^n l_i + \sum_{j=1}^m \frac{\pi \alpha_j}{180} R_j, \quad (1.20)$$

где l_i – длина i -го прямого участка; i – количество прямых участков (1, 2, ..., n); α_j – угол сгиба j -го изогнутого участка; j – количество изогнутых участков (1, 2, ..., m); R_j – расчётный радиус нейтрального слоя j -го изогнутого участка.

Особенности простановки размеров изогнутых заготовок

Проставленные размеры должны обеспечить построение контура заготовки и возможность расчёта развертки.

Если задаётся чертеж плоской заготовки-развёртки с указанием всех размеров для её построения, то на чертеже изогнутой заготовки проставляются только размеры элементов, полученных в результате гибки (рис. 1.11 а). Повтор размеров плоской и изогнутой заготовок не допускается.

Размеры концевых участков необходимо проставлять от внутренних поверхностей (рис. 1.11 б). Размеры радиусов изгиба также необходимо проставлять только внутренние. Наружные радиусы изгиба в результате деформации увеличиваются на величину, превышающую толщину материала.

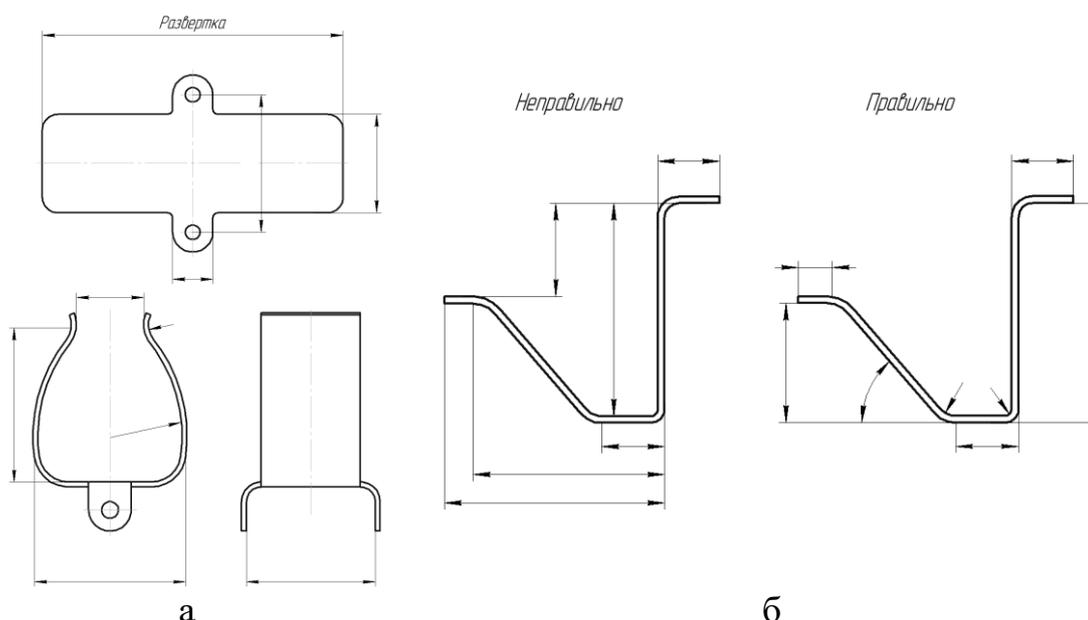


Рисунок 1.11 – Схемы простановки размеров заготовок, полученных гибкой: а – при совместном выполнении чертежа развёртки и изогнутой заготовки; б – при отсутствии чертежа развёртки

Способ простановки размеров на чертеже изогнутой заготовки оказывает значительное влияние на технологию штамповки. Например, если на изогнутой заготовке координаты центра отверстия будут заданы от края (рис. 1.12 а), то пробивку можно совмещать с вырубкой. В случае задания координат от осевой линии или от стенок (рис. 1.12 б–в), отверстия следует пробивать после гибки.

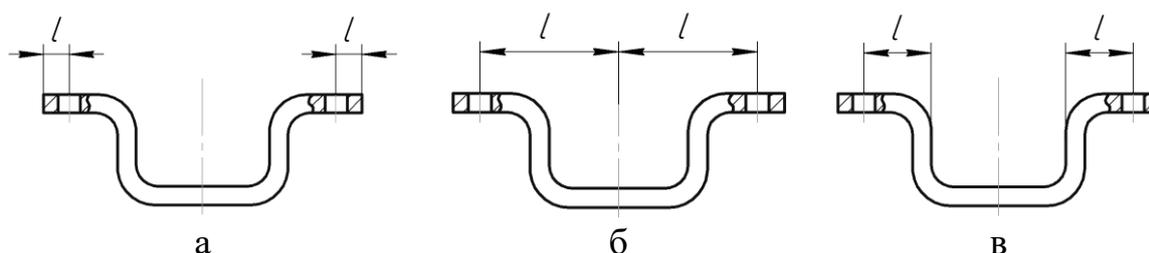


Рисунок 1.12 – Схемы простановки координат отверстий в изогнутых заготовках: а – от края заготовки; б – от осевой линии; в – от внутренней стенки

1.8 Использование САПР для моделирования изогнутых деталей из листа, получения развёрток и выполнения технологических расчётов

Проектирование изогнутых деталей и расчёт их развёрток требует немалых затрат времени.

В подразделе 1.7 рассмотрен вариант расчёта развёртки изогнутой детали с использованием положения о наличии в ней нейтрального слоя, который претерпевает изгиб, но не изменяет первоначальной длины. Исходя из этого положения, в деталях рассчитывают длину нейтрального слоя изогнутых элементов, а длину прямолинейных участков при расчёте развёртки оставляют без изменений.

В работе конструкторов и технологов уже достаточно давно используют САД системы (САПР), в состав которых обычно входят приложения, автоматизирующие проектные работы и технологические расчёты.

В качестве примера использования САПР при проектировании изогнутой детали, автоматизированном расчёте её развёртки и выполнении раскроя далее рассмотрена последовательность выполнения перечисленных работ с использованием САПР КОМПАС-3D v18.1.

Пусть требуется создать электронную геометрическую модель детали, общий вид которой изображён на рисунке 1.13, для которой заданы её размеры $L = 115$ мм, $B = 60$ мм, толщина металла исходной заготовки $S_{1,5}$ мм и материал – сталь 08. Недостающие размеры задают

конструктивно с учётом требований, изложенных в предыдущем подразделе.

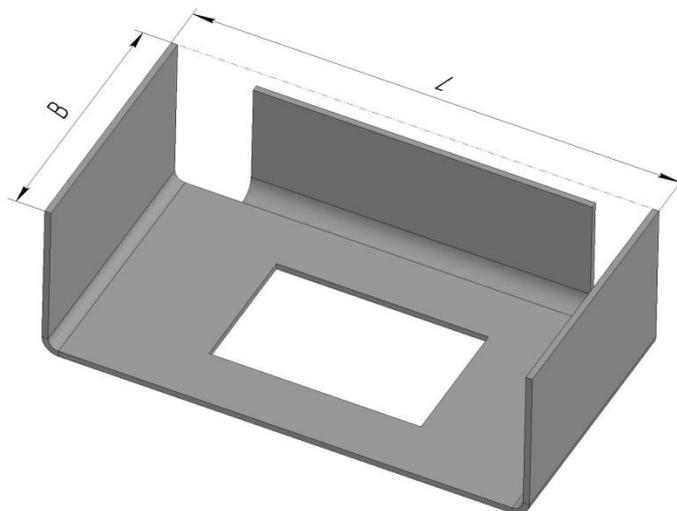


Рисунок 1.13 – Общий вид изогнутой детали

Для работы с САПР выполняют её инициализацию, после которой начальная страница примет вид, показанный на рисунке 1.14. В этом окне выбирают вкладку «Специальный документ» – «Листовая деталь». В результате будет создан документ «Деталь БЕЗ ИМЕНИ1» (рис. 1.15), в котором производится построение модели изогнутой детали.

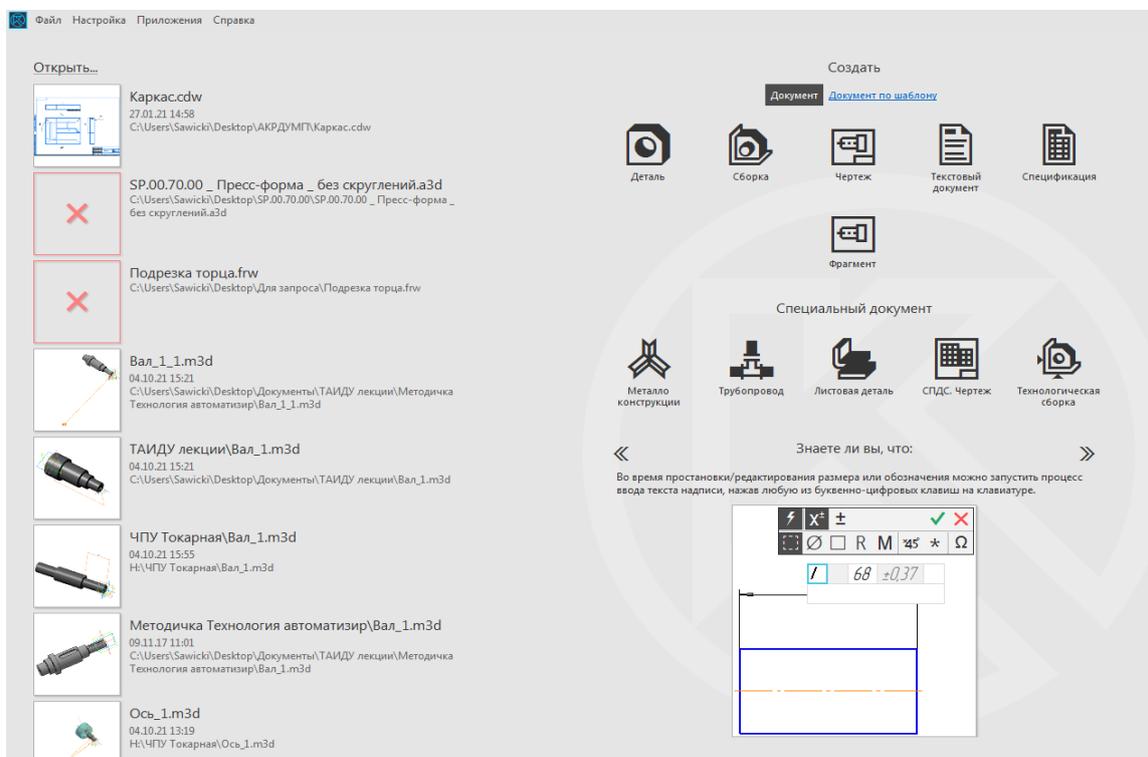


Рисунок 1.14 – Начальная страница САПР

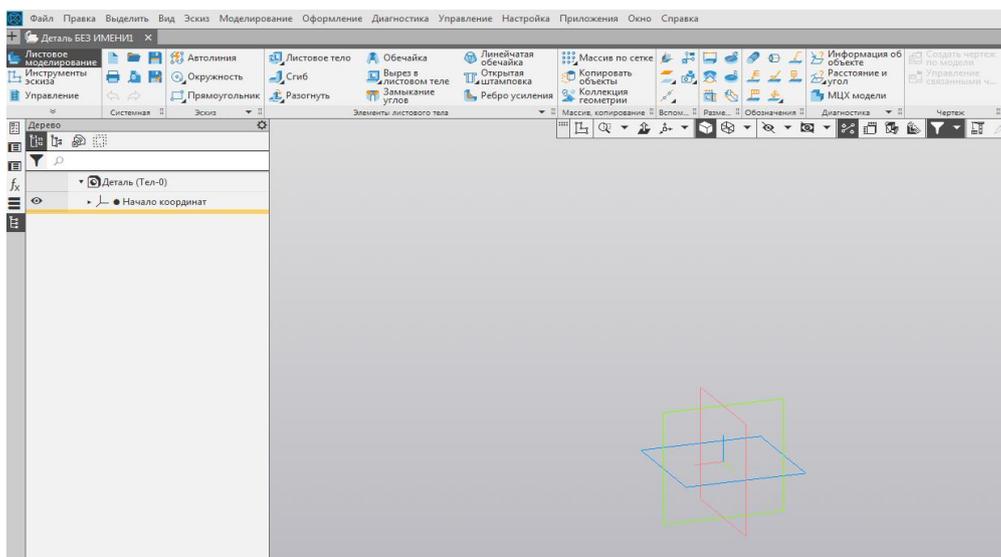


Рисунок 1.15 – Создание файла для моделирования новой детали

В верхней инструментальной панели появится название модуля – «Листовое моделирование», и инструменты, с помощью которых выполняют создание элементов детали, изогнутой из листа. Эти инструменты показаны на рисунке 1.16.

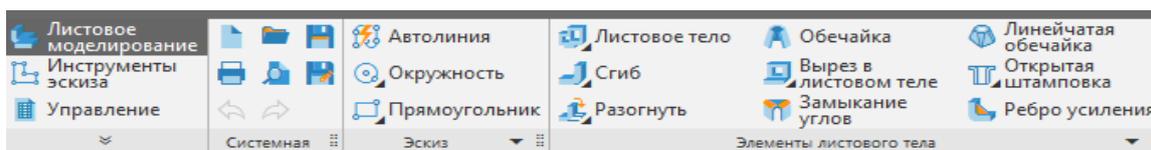


Рисунок 1.16 – Инструменты для моделирования новой детали

Следует учитывать, что изогнутое тело в САПР может быть построено различными способами.

Возможен вариант построения детали по эскизу. В этом случае в одной из плоскостей координатной системы, отображаемой в графическом окне САПР, например, XZ, создают эскиз, в котором будет моделироваться элемент листового тела. Для этого курсором мыши выделяют указанную плоскость и графическая часть САПР примет вид (рис. 1.17 а).

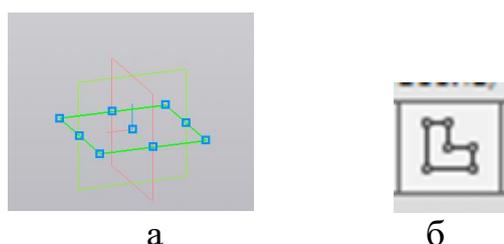


Рисунок 1.17 – Выбор плоскости для создания эскиза элемента гнутой детали (а) и вкладка «Эскиз» (б)

После выделения плоскости появится всплывающее окно, в котором в левом нижнем углу присутствует вкладка «Эскиз» (рис. 1.17 б). Аналогичная вкладка расположена в нижней части верхней инструментальной панели. Графическая область САПР примет вид, приведенный на рисунке 1.18 а, и в дереве построения появится первый элемент «Эскиз:1» (рис. 1.18 б).



Рисунок 1.18 – Режим создания эскиза элемента изогнутой детали (а) и дерево построения (б)

Пусть в качестве первого элемента изогнутой детали используется элемент, включающий основание с прямоугольным отверстием и примыкающими к нему двумя отогнутыми полками. Размеры элементов эскиза задают так, чтобы их общий размер был равен длине детали по заданию, размеры отогнутых полок и радиусы сопряжений – конструктивно, с учётом требований технологичности (см. подраздел 1.7). Для создания эскиза элемента используют вспомогательные построения и примитивы (линии, дуги, отрезки и др.). После выполнения перечисленных действий в графической части САПР будет создан эскиз элемента изогнутой детали, показанный на рисунке 1.19. Размеры этого элемента параметризованы и при их изменении система автоматически перестроит не только эскиз, но и модель изогнутой детали.

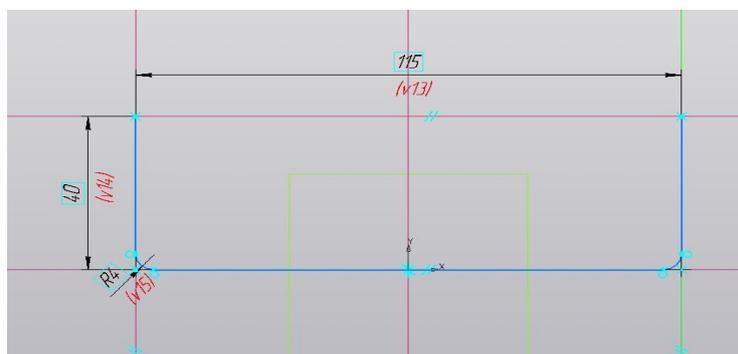


Рисунок 1.19 – Эскиз элемента изогнутой детали

Затем выходят из режима работы с эскизом, нажимая графическую вкладку в правой верхней части окна САПР, а затем раскрывают вкладку «Листовое тело» в верхней горизонтальной инструментальной панели. Окно САПР приобретёт вид, показанный на рисунке 1.20. В раскрывшейся слева от графического окна вкладке имеется возможность задать толщину будущей детали (по заданию 1,5 мм) и расстояние, которое будет определять ширину элемента (по заданию – 60 мм). Указав значения этих величин, нажимают зелёную галочку вверху меню, подтверждая завершение операции создания элемента листового тела. Графическая часть окна САПР приобретёт вид как на рисунке 1.21. При этом в дереве построения изогнутой детали кроме ранее созданного эскиза появится ещё один элемент – «Листовое тело:2».

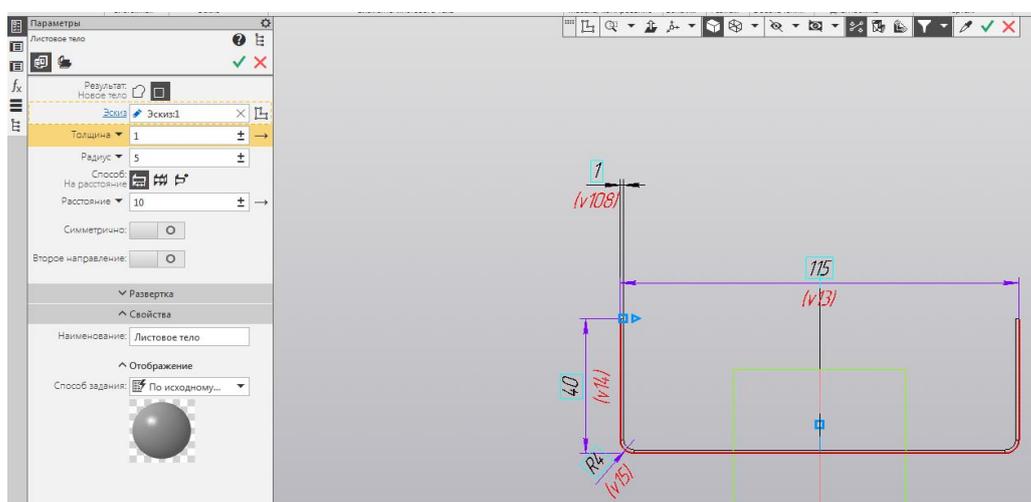


Рисунок 1.20 – Меню задания параметров элемента изогнутой детали и графическое окно САПР

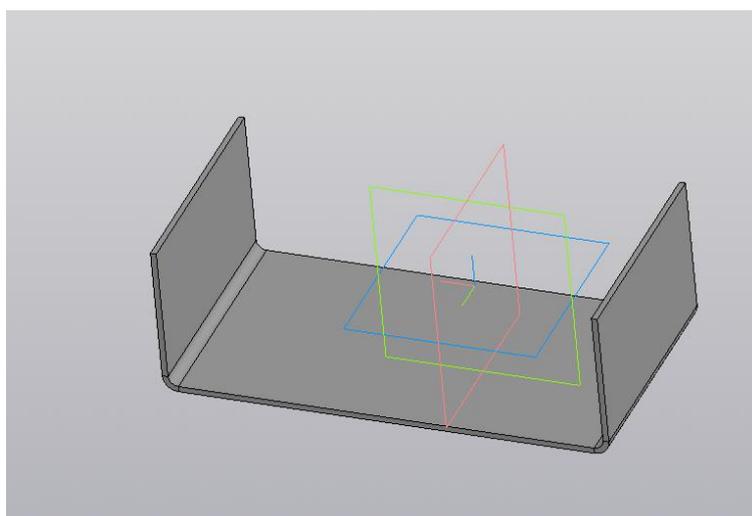


Рисунок 1.21 – Модель элемента изогнутой детали в графическом окне САПР

В соответствии с исходным заданием к полученному элементу необходимо добавить сгиб и отогнутую полку. Для этого используют вкладку верхней горизонтальной инструментальной панели «Сгиб». С её помощью к листовой детали добавляют цилиндрический сгиб с примыкающим к нему плоским участком – продолжением сгиба (или полкой). Сгиб может размещаться вдоль одного или нескольких прямолинейных рёбер. Длина продолжения сгиба задаётся явно или определяется по указанному объекту, которым может быть вершина или поверхность, при этом длины боковых поверхностей продолжения сгиба могут задаваться по отдельности, возможно задания уклона сторон сгиба и его продолжения, управление шириной сгиба и другими параметрами.

После нажатия вкладки «Сгиб» раскроется окно следующего вида (рис. 1.22). По умолчанию система раскрывает вкладку «Вдоль всего ребра».

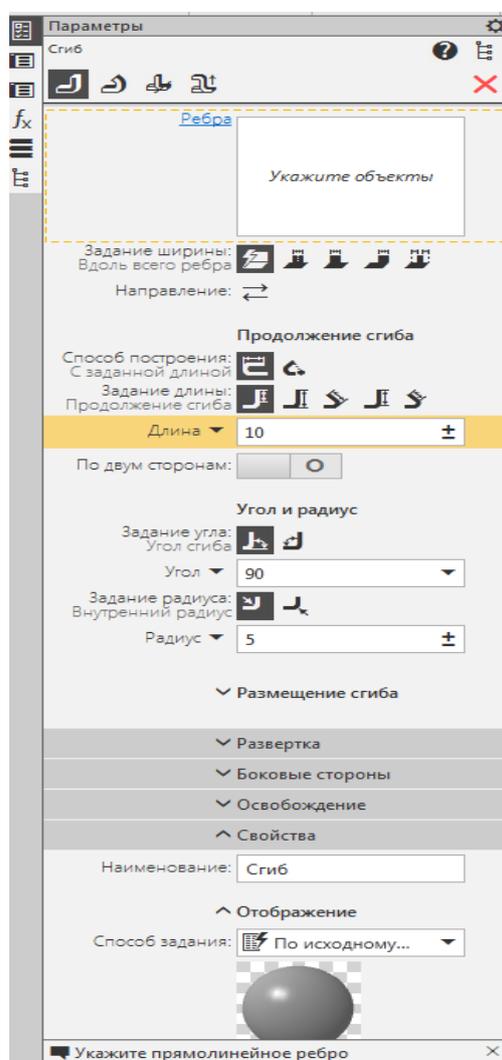


Рисунок 1.22 – Меню задания параметров сгиба и его продолжения

В соответствии с исходным заданием ширина сгиба меньше длины основания элемента детали, от которого этот сгиб создаётся. Чтобы задать параметры сгиба, во вкладке «Задание ширины:» выбирают вкладку «По центру», в которой задают ширину сгиба, длину его продолжения относительно центра плоского основания детали и радиус сгиба. Радиус выбирают равным радиусу ранее созданных сгибов (5 мм), а размеры остальных элементов задают конструктивно (рис. 1.23 а). Строка подсказки внизу меню определяет действие, которое следует выполнить для создания в модели детали нового сгиба, а именно, «Создайте операцию, переукажите рёбра, или укажите параметры». Нажимая зелёную галочку в окне меню, завершают создание сгиба и его продолжения и деталь приобретает вид, приведенный на рисунке 1.23 б.

При необходимости размеры созданных элементов могут быть скорректированы. В режиме редактирования доступны вкладки «Размещение сгиба», «Развёртка», «Боковые стороны», «Освобождение» и т. д. С их помощью может быть задано, например, расположение сгиба относительно ранее созданного элемента, длины боковых сторон сгиба – в случае их неравенства относительно плоскости симметрии первоначально задаваемого ребра, наличие освобождений для сгиба и угла и т. д.

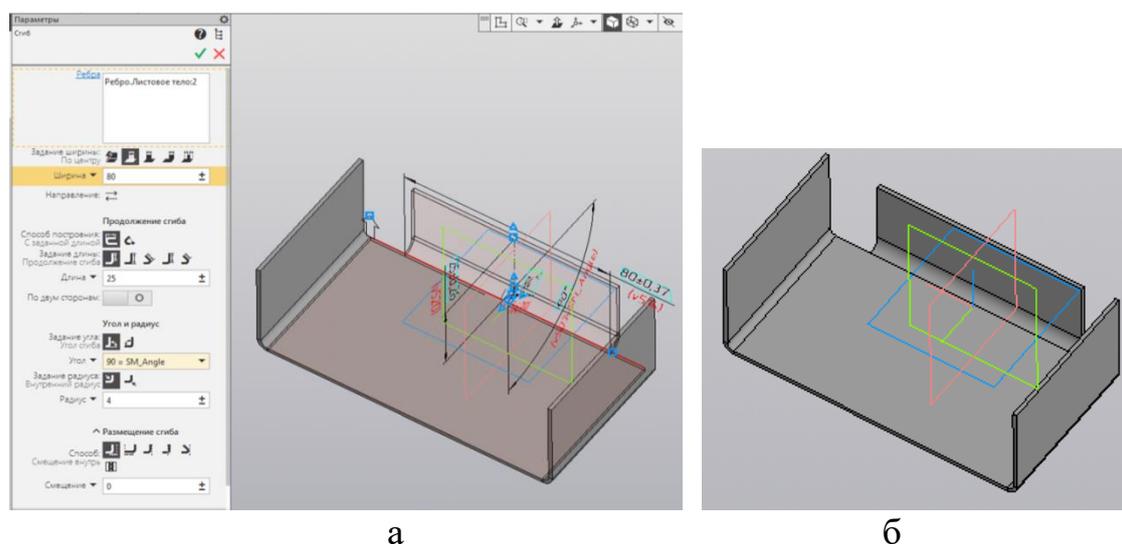


Рисунок 1.23 – Построение сгиба по центру ребра детали: а – меню задания параметров сгиба и его продолжения; б – результат операции

Для конструкции большинства листоштампованных деталей характерно наличие на их гранях отверстий различной формы. Модуль проектирования «Листовое моделирование» позволяет выполнить эти отверстия с помощью вкладки «Вырез в листовом теле», которая находится в верхней горизонтальной инструментальной панели САПР.

В исходном задании конструкция детали включает отверстие прямоугольной формы, которое располагается на основании первого геометрического элемента. Для моделирования отверстия необходимо войти в режим создания эскиза на основании листоштампованной детали. Для этого курсор мыши в графической части САПР размещают на плоской поверхности основания изогнутой детали и нажимают левую кнопку мыши. Эта плоскость подсветится зелёным цветом и появится всплывающее меню, в котором выбирают вкладку «Создать эскиз» (рис. 1.24 а). В дереве построения появится новый элемент – «Эскиз:2», а в графической части выделенный ранее элемент займёт положение как вид спереди. С помощью вспомогательных построений и геометрических элементов (прямоугольник, квадрат и др.) создают эскиз будущего отверстия с размерами, выбранными конструктивно, например, шириной 50 мм и высотой 32 мм (рис. 1.24 б). В случае, если

отверстие располагается близко к линиям сгиба или краю детали, следует учесть рекомендации, указанные в подразделе 1.7 данного пособия. В противном случае отверстие, которое получают в плоской детали пробивкой, после гибки может приобрести погрешности формы, что недопустимо по техническим требованиям, предъявляемым к листоштампованным деталям.

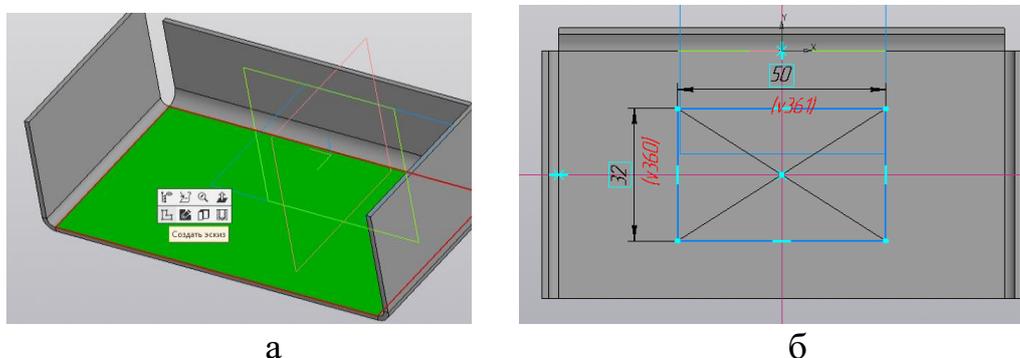


Рисунок 1.24 – Выбор плоскости для создания отверстия (а) и построение его эскиза в листовой детали (б)

Для завершения операции создания отверстия выходят из режима работы с эскизом, нажимая вкладку «Эскиз» справа вверху графической части, затем раскрывают вкладку «Вырез в листовом теле» (верхняя инструментальная панель САПР) и получают результат, приведенный на рисунке 1.25 а. Нажимая зелёную галочку вверху меню, завершают операцию получения выреза в листовом теле. Создание изогнутой листоштампованной детали завершено (рис. 1.25 б).

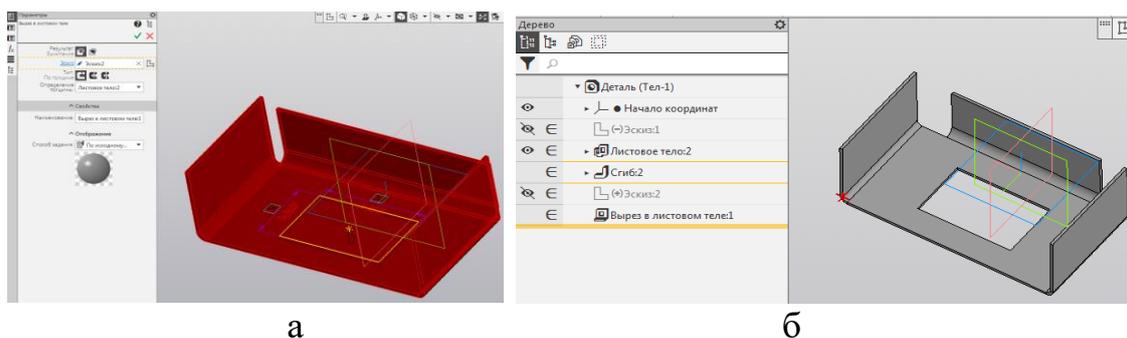


Рисунок 1.25 – Создание выреза в листовом теле (а) и модель готовой детали (б)

Затем созданной детали присваивают имя. Для этого дважды кликают левой кнопкой мыши на названии «Деталь (Тел-1)» в дереве построения модели. Раскроется контекстное меню «Свойства» (рис. 1.26 а), во вкладке «Наименование» курсор располагают в окне «Деталь». Название подсветится, что позволяет ввести имя детали,

например, «Скоба». Во вкладке «Материал» по умолчанию указана сталь 10. Изменить материал детали можно двумя способами, используя вкладки «Выбрать материал из списка» или «Выбрать материал из справочника». Эти графические вкладки расположены рядом с вкладкой «Материал: Сталь 10 ГОСТ...». Они выполнены всплывающими и появляются после наведения на каждую из них курсора мыши. По заданию в качестве материала используется сталь 08.

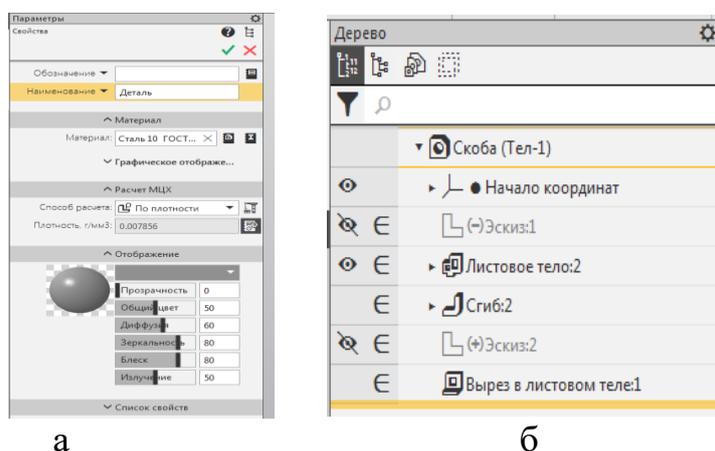


Рисунок 1.26 – Меню присвоения имени детали, выбора материала (а) и дерево построения (б)

После выполнения указанных выше действий завершают текущую операцию и дерево построения приобретёт вид, показанный на рисунке 1.26 б.

Поскольку деталь получают из раскроя полосы либо другим способом (например, лазерной резкой), для выполнения раскроя необходимо иметь развёртку изогнутой детали.

САПР обеспечивает выполнение расчёта развёртки в полуавтоматическом режиме.

Получение развёртки выполняют активацией команды «Развернуть» на компактной панели, расположенной над графической частью САПР (рис. 1.27). САПР перейдёт в режим создания развёртки, о чём свидетельствует вкладка в правой верхней части графического окна, в самом графическом окне появится развёртка детали (рис. 1.28). В дереве модели будет создан новый элемент «Развёртка». При этом отображение детали на развёртке полностью соответствует требованиям действующего стандарта ЕСКД.

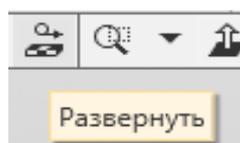


Рисунок 1.27 – Вкладка «Развернуть» для создания развёртки детали

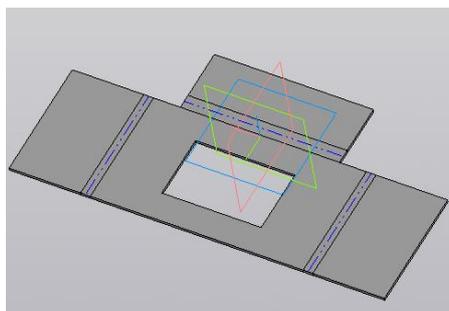
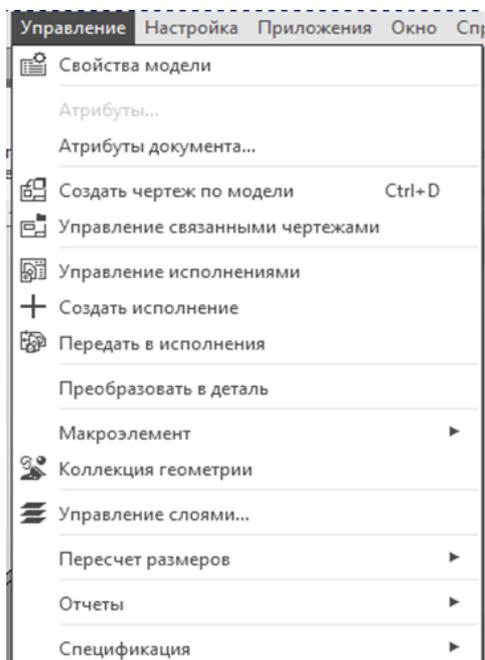


Рисунок 1.28 – Развёртка изогнутой детали в графическом окне САПР

Чтобы выйти из режима создания развёртки достаточно нажать вкладку в правой верхней части графического окна САПР. Изображение детали в нём вернётся к отображению изогнутой детали, а в дереве модели элемент «Развёртка» станет неактивным (отображается серым цветом).

Для получения развёртки может использоваться вкладка «Разогнуть», расположенная в верхней горизонтальной инструментальной панели (её использование рекомендуется выполнять самостоятельно).

Моделирование детали завершено, полученный файл сохраняют и переходят к созданию рабочего чертежа, ассоциированного с моделью. При любом изменении модели её рабочий чертёж будет автоматически перестроен САПР.



Для создания чертежа используют вкладку «Управление», размещённую в верхней инструментальной панели. После её раскрытия появится меню, состав которого показан на рисунке 1.29. Среди вкладок меню выбирают «Создать чертёж по модели», нажимая на которую активируют команду создания рабочего чертежа. В графической части САПР появится отображение пустого чертежа формата А4, фантом ориентации вида детали по умолчанию («Спереди», рис. 1.30 а), а в левой части раскроется окно «Вид с модели» (рис. 1.30 б).

Рисунок 1.29 – Меню создания рабочего чертежа детали

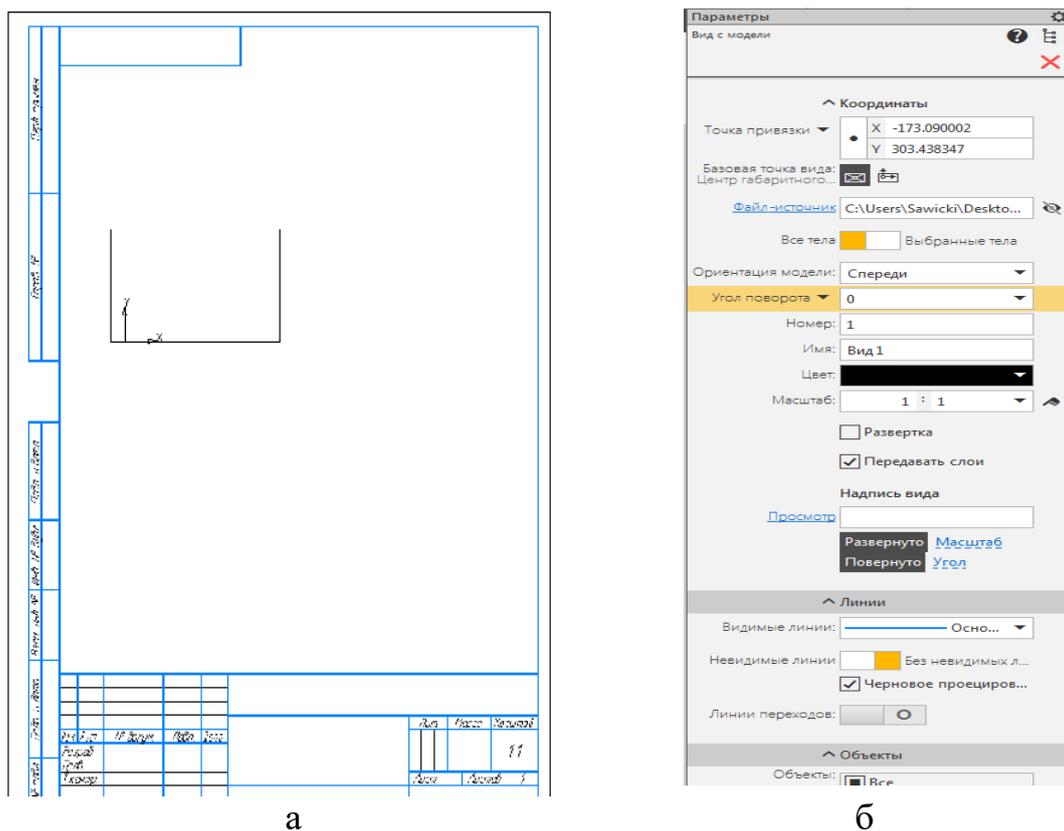


Рисунок 1.30 – Создание чертежа по модели:
 а – графическое окно САПР; б – меню задания параметров

Направление взгляда на модель следует выбирать так, чтобы при переходе от геометрической модели к её плоскому изображению на чертеже на главном виде было показано максимально возможное количество оформленных изогнутых элементов детали. Этим видом в графическом окне созданной геометрической модели детали будет «Вид справа», который фиксируют в поле чертежа, нажимая левую кнопку мыши, даже если не весь вид располагается в поле формата А4. В последующем формат чертежа, как и масштаб детали, может быть скорректирован. Остальные виды добавляют к главному виду следующим образом. В верхней инструментальной панели находится ряд вкладок, с помощью которых можно создать «Новый вид», «Вид с модели», «Вид по стрелке», «Проекционный вид» и др. В соответствии с ГОСТом количество видов, разрезов, сечений и пр. элементов на чертеже должно давать полное понимание конструкции детали. Кроме главного вида, для разработанной модели детали создают вид сверху и вид слева. Для этого нажимают вкладку «Проекционный вид». В графической части САПР появится курсор, который располагают в поле главного вида, затем перемещают курсор в поле чертежа, где необходимо разместить соответствующий вид (вниз для размещения вида сверху) и нажимают левую кнопку мыши для фиксации вида.

Затем курсор вновь размещают в поле главного вида и двигают вправо, фиксируя затем положение вида слева.

В качестве вида для справок на чертеже размещают изометрическую проекцию детали. Для этого нажимают вкладку «Вид с модели», в середине графического окна появится вкладка «Открытые документы» и ссылка на деталь «Скоба». В ней раскрывают вкладку «Выбрать» и в раскрывшемся окне «Вид с модели» выбирают «Ориентация модели:». Среди доступных для отображения видов выбирают «Изометрия» и располагают фантом этого вида в поле чертежа, затем фиксируют его положение нажатием левой кнопки мыши. Аналогично располагают на чертеже развёртку детали. Для её отображения во вкладке «Вид с модели» дополнительно активируют вкладку «Развёртка» (устанавливают галочку). Перечисленные выше действия рекомендуется выполнить самостоятельно.

Для использования другого формата чертежа все виды можно располагать в масштабе. После этого предварительный фрагмент чертежа приобретёт вид, приведенный на рисунке 1.31. Как следует из представленного рисунка, при создании чертежа по геометрической модели детали алгоритм САПР автоматически заполняет элементы соответствующих частей углового штампа (формируется наименование детали, указывается выбранный материал, отображается масштаб главного вида, масса детали).

В дальнейшем выполняют простановку размеров на видах, отображающих изогнутую деталь и её развёртку, а также приводят технические требования к материалу детали, шероховатости обработки её поверхностей, параметрам размерной точности, по форме и расположению элементов. При простановке размеров учитывают положения, приведенные в подразделе 1.5 – для плоских листоштампованных деталей, в подразделе 1.7 – для изогнутых из листа деталей, а также особенности простановки размеров изогнутых деталей.

Приведенную на чертеже развёртку изогнутой детали затем используют для определения размеров полосы (в основном, ширины) и расчёта раскроя этой полосы, а размер полосы позволяет рассчитать раскрой листа, из которого будут изготавливать деталь в виде полуфабриката, который затем подвергают гибочным операциям. После этого определяют коэффициент использования материала, используя возможности САПР по представлению информации о площади штампованной детали. Такой порядок реализовывают при изготовлении листоштампованных деталей в условиях массового производства. При выпуске деталей малыми партиями целесообразно использовать раскрой, выполняемый на листопробивном оборудовании с ЧПУ или лазерную резку, также выполняемую на оборудовании с ЧПУ.

Приложение САПР «Листовое моделирование» значительно сокращает затраты времени как на проектирование изогнутой детали,

так и на выполнение технологических расчётов, необходимых для технологической подготовки холодноштамповочного производства к выпуску продукции.

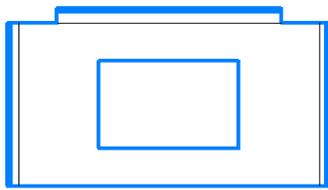
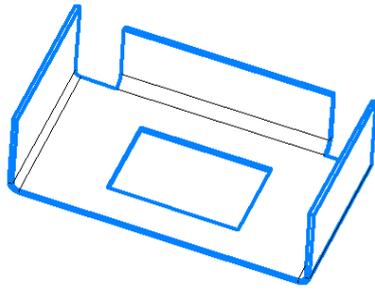
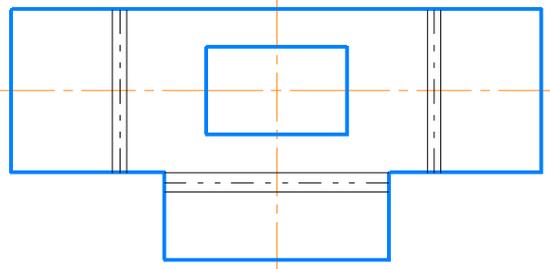
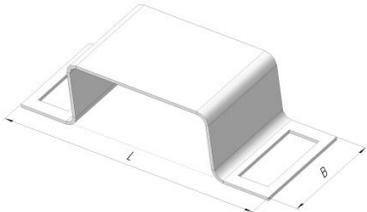
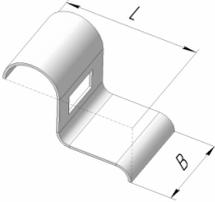
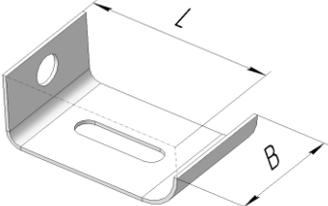
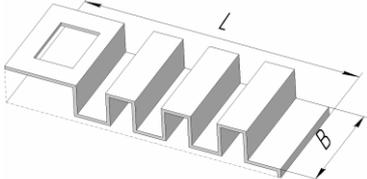
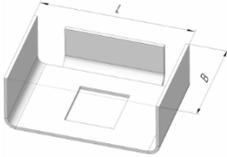
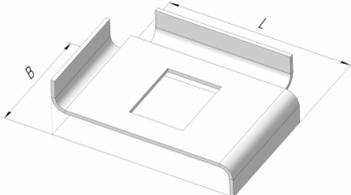
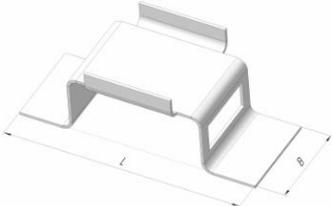
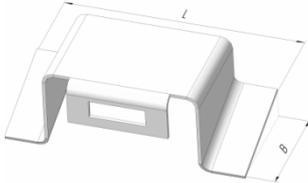
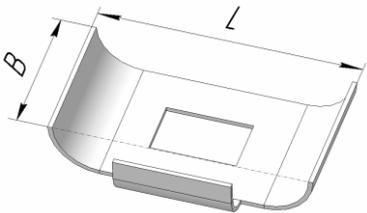
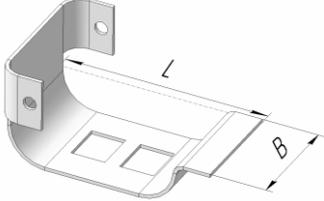
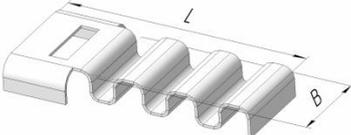
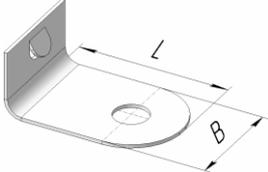
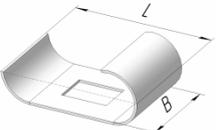
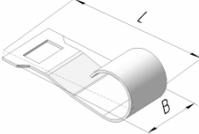
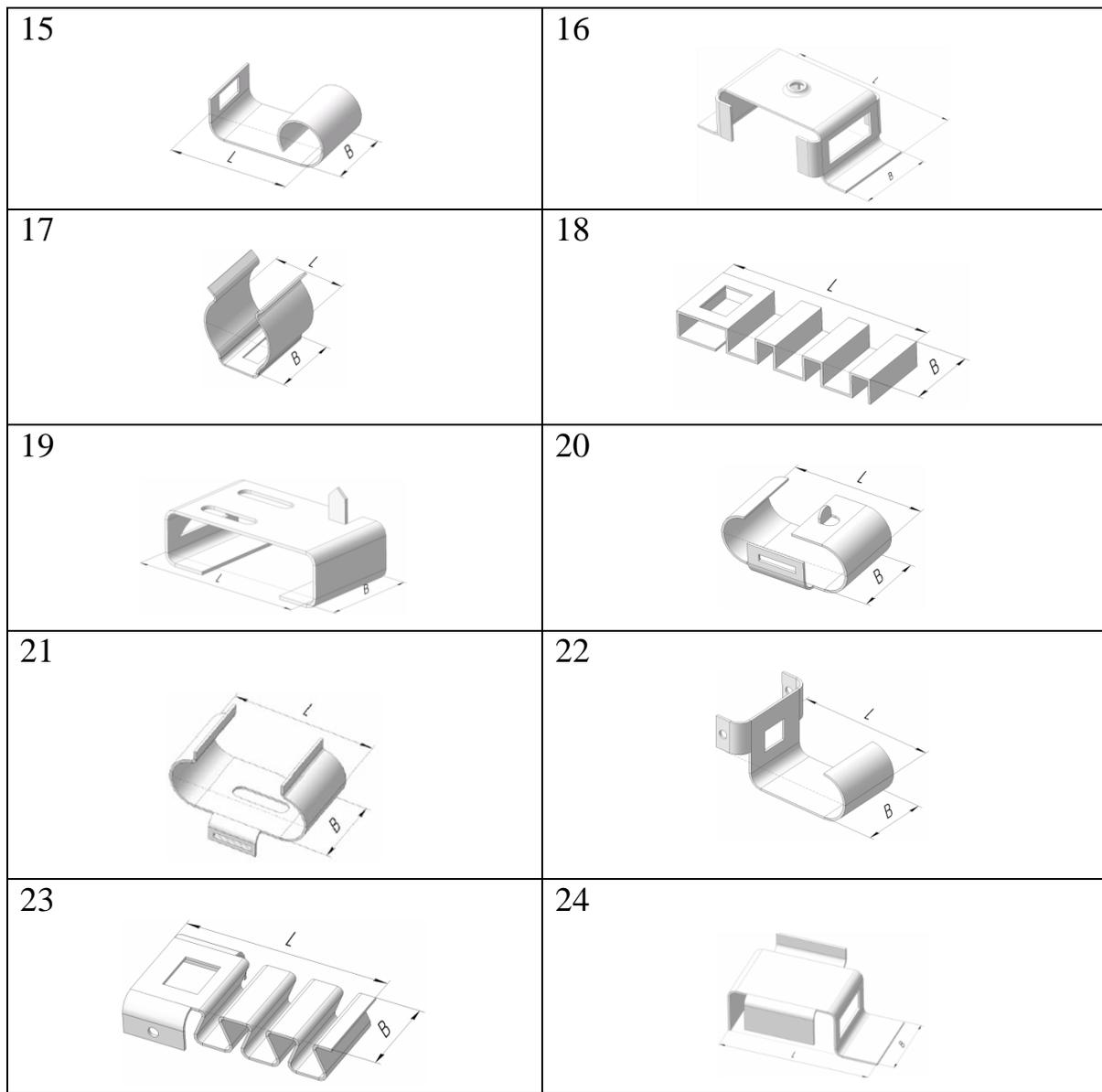
Перв. примен.							
Справ. №							
Подп. и дата							
Взам. инв. №	Инв. № дубл.						
Подп. и дата					Лит.	Масса	Масштаб
Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<i>Скоба</i>	
	Разраб.					0,15	1:2
	Проб.					Лист	Листов
	Т.контр.						1
	Н.контр.					<i>Сталь 08 ГОСТ 1050-2013</i>	
	Утв.					<i>Копировал</i>	
						<i>Формат А4</i>	

Рисунок 1.31 – Фрагмент чертежа изогнутой детали

Варианты к заданию 2

1	2
	
3	4
	
5	6
	
7	8
	
9	10
	
11	12
	
13	14
	



№	<i>L</i> , мм	<i>B</i> , мм	№	<i>L</i> , мм	<i>B</i> , мм
1	100	60	13	100	65
2	105	60	14	100	70
3	110	60	15	100	55
4	125	70	16	100	50
5	115	60	17	100	45
6	100	65	18	125	75
7	100	70	19	105	65
8	100	75	20	110	70
9	125	85	21	115	55
10	120	60	22	120	50
11	120	75	23	115	70
12	120	65	24	95	45

*S** – толщина деталей выбирается в соответствии с сортаментом листового и полосового проката

1.9 Вытяжка

Вытяжкой в холодном состоянии можно изготавливать детали толщиной от 0,02–0,03 мм до 30 мм, весом до 1 т, а в горячем состоянии – толщиной более 100 мм и весом в десятки тонн. Вытяжкой получают детали разнообразной формы из плоских листовых или полых тонкостенных заготовок, не требующих, как правило, дальнейшей обработки, кроме обрезки края. К ним относятся:

- детали, имеющие форму тел вращения: днища котлов, резервуаров, осветительная аппаратура и др.;
- детали коробчатой формы: топливные баки, канистры, торы и пр.;
- детали, имеющие одну ось симметрии или асимметричные: кузов автомобиля, двери, капот и пр.;
- детали, у которых толщина дна больше толщины стенок: гильзы стрелкового оружия, посуда с толстым дном и пр.

Различают вытяжку *без утонения стенок* и *с утонением*. При вытяжке *без утонения стенок* плоская заготовка превращается в полую деталь без существенного изменения толщины стенок.

В процессе вытяжки плоская заготовка затягивается пуансоном в матрицу, в результате поверхность фланца непрерывно уменьшается, а в самом фланце возникают напряжения растяжения σ_r , действующие в радиальном направлении, и нормальные тангенциальные напряжения сжатия σ_θ (рис. 1.32 а).

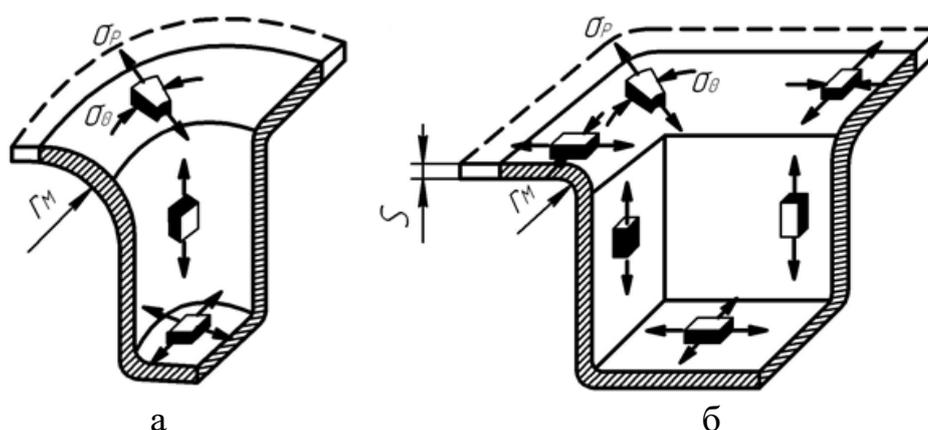


Рисунок 1.32 – Напряжения в различных зонах вытягиваемых деталей:
а – круглых; б – коробчатых

Величина этих напряжений зависит от отношения диаметра заготовки D к диаметру вытягиваемой детали d , и чем больше это отношение, тем выше напряжения.

Напряжения распределяются во фланце неравномерно. Растягивающие напряжения σ_r , если не учитывать трения, равны нулю у края заготовки и увеличиваются по мере приближения к кромке матрицы, где они достигают максимума. Сжимающие напряжения σ_θ , наоборот, возрастают по мере удаления от кромки матрицы и достигают максимума у края заготовки и становятся приблизительно равным $1,1\sigma_T$ (предел текучести материала, наклёпанного в процессе вытяжки). Поскольку при деформировании возникают напряжения растяжения-сжатия, считают, что материал фланца имеет плоскую разноименную схему напряженного состояния.

Ввиду незначительной величины сжимающих напряжений σ_θ , возникающих в вертикальном направлении от действия силы прижима, ими обычно пренебрегают.

Дно вытягиваемой детали находится под действием напряжений растяжения, т. е. имеет плоскую одноименную схему напряженного состояния, характеризующуюся весьма небольшими величинами растягивающих напряжений. В вертикальных стенках действуют продольные растягивающие напряжения, которые равномерно распределены по окружности; величина этих напряжений определяется значением радиальных растягивающих напряжений и дополнительными вредными сопротивлениями, связанными с трением от действия силы прижима, трением и изгибом при перемещении заготовки через вытяжное ребро матрицы.

Растягивающие напряжения приводят к утонению стенок вытягиваемой детали у дна, а сжимающие напряжения во фланце – к утолщению стенок у кромки. Сжимающие силы при относительно тонком материале заготовки и большой степени деформации будут образовывать складки на поверхности той части заготовки, которая расположена на матрице.

Напряженное состояние при вытяжке коробчатой детали более неравномерно, чем при вытяжке цилиндрических деталей. Неравномерности в этом случае зависят главным образом от геометрических соотношений между элементами вытягиваемой коробчатой детали. В элементах фланца, из которого в процессе вытяжки образуются углы радиуса коробчатой детали, имеет место плоская разноименная схема напряженного состояния (рис. 1.32 б) с растягивающими σ_r и сжимающими σ_θ напряжениями, аналогичными напряжениям, возникающим при вытяжке цилиндрической детали такого же радиуса и той же высоты, но меньшей величины. По мере удаления от углов напряжения σ_r и σ_θ падают. В середине прямых сторон фланца вытягиваемой коробчатой детали они наименьшие. Продольные растягивающие напряжения, действующие в вертикальных стенках, также распределяются неравномерно по периметру детали. Величина этих напряжений так же, как и в случае вытяжки

цилиндрических деталей, функционально связана с растягивающими напряжениями в соответствующих местах фланца и напряжениями, связанными с дополнительными вредными сопротивлениями на трение и изгиб. Дно коробчатой детали имеет плоскую одноименную схему напряженного состояния с незначительными растягивающими напряжениями.

Сжимающие силы при относительно тонком материале заготовки и большой степени деформации будут образовывать складки на поверхности той части заготовки, которая расположена на матрице. При малой степени деформации и тонком материале заготовки или при толстом материале и даже значительной степени деформации складкообразования практически не происходит. Для предупреждения складкообразования заготовку тем или иным способом прижимают к поверхности матрицы.

Толщина материала плоской заготовки и вытянутой детали различна. В донной части она остается такой же, как и у исходной заготовки. Стенки утоняются, а фланец утолщается. Наибольшее утонение имеет участок, находящийся выше места сопряжения стенок и дна, достигающее 30 %. Обычно оно не превышает 10–25 %.

Основными факторами, определяющими величину утонения, являются: радиус закругления матрицы, смазка, зазор между пуансоном и матрицей, давления прижима фланца. Чрезмерное давление со стороны прижима увеличивает утонение и может привести к отрыву дна детали.

Необходимость применения прижима на первой операции определяется следующими соотношениями

$$\frac{S}{D} \cdot 100 > 2,0, \quad a \cdot \frac{d_1}{D} \geq 0,55, \quad (1.21)$$

где S – толщина заготовки; D и d_1 – соответственно диаметры исходной заготовки и вытянутой детали; a – ширина свободного кольцевого участка заготовки между пуансоном и прижимом при зажатом фланце, сохраняющем свои первоначальные размеры.

Для последующих операций

$$\frac{S}{d_{n-1}} \cdot 100 > 1,5, \quad a \cdot \frac{d_n}{d_{n-1}} \geq 0,78. \quad (1.22)$$

где d_n – диаметр вытянутой детали на n -переходе.

Вытяжка коробчатых деталей из плоской заготовки возможна без прижима, если $H/S \leq 14$ при условии $H:B < 0,7$; $r_c:S > 1$, где H – высота коробки, B – ширина коробки, r_c – радиус сопряжения стенок.

Количество вытяжных операций, необходимых для изготовления цилиндрических деталей без фланца, зависит от относительной высоты H/D и относительной толщины S/D (рис. 1.33).

Число вытяжных операций деталей из материалов с удовлетворительными пластическими свойствами (сталь для глубокой вытяжки, латунь) может быть ориентировочно назначено по данным таблицы 1.24.

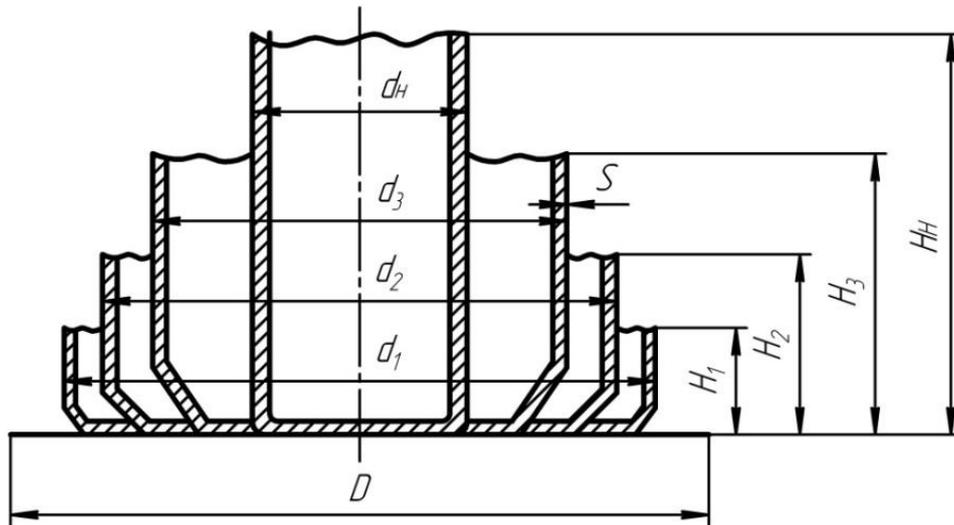


Рисунок 1.33 – Схема многопереходной вытяжки

Таблица 1.24 – Количество вытяжных операций в зависимости от относительной высоты H/D

H/D	< 0,6	1,4	2,5	4	7	12
Количество вытяжных операций	1	2	3	4	5	6

Если деталь имеет фланец, число вытяжных операций дополнительно зависит от отношения диаметра фланца D_ϕ к диаметру цилиндрической части d и значения радиуса перехода r_m фланца к стенкам; последний составляет $(3-2)S$ (табл. 1.25).

Таблица 1.25 – Количество вытяжных операций для деталей с фланцем

D_ϕ/d	H/D		
	0,5	1	2
Число операций вытяжки			
1,5	1	2	3
2	2	3	4
3	3	4	5

Расчёт операционных размеров деталей производится по коэффициентам вытяжки. Коэффициенты вытяжки цилиндрических

деталей без фланца выражают отношения для первой вытяжки $m_1 = d_1 / D$; для второй вытяжки – $m_2 = d_2 / d_1$; для последующих – $m_n = d_n / d_{n-1}$. Установив величину коэффициентов вытяжки, определяют диаметры по операциям

$$d_1 = m_1 \cdot D; d_2 = m_2 \cdot d_1; d_n = m_n \cdot d_{n-1}. \quad (1.23)$$

Общий коэффициент вытяжки

$$m = d_n / D; \quad (1.24)$$

где d_n – наружный диаметр вытягиваемой детали; D – диаметр заготовки, мм.

При вытяжке детали за несколько операций коэффициенты вытяжки для каждой отдельной операции (табл. 1.26) устанавливаются из условия, что их произведение равно итоговому коэффициенту вытяжки, т. е.

$$m = m_1 \cdot m_2 \cdot m_n. \quad (1.25)$$

Таблица 1.26 – Коэффициенты вытяжки цилиндрических деталей без фланца

Обозначения коэффициентов вытяжки	Значения коэффициентов при относительной толщине $(S/D) 100\%$				
	2 – 1,5	1,5 – 1,0	1,0 – 0,5	0,5 – 0,2	0,2 – 0,6
m_1	0,46–0,50	0,50–0,53	0,53–0,56	0,56–0,58	0,58–0,60
m_2	0,70–0,72	0,72–0,74	0,74–0,76	0,76–0,78	0,78–0,80
m_3	0,72–0,74	0,74–0,76	0,76–0,78	0,78–0,80	0,80–0,82
m_4	0,74–0,76	0,76–0,78	0,78–0,80	0,80–0,82	0,82–0,84
m_5	0,76–0,78	0,78–0,80	0,80–0,82	0,82–0,84	0,84–0,86

При вытяжке за несколько операций, помимо диаметра, необходимо установить форму сопряжения стенки и дна и рассчитать высоту заготовки на промежуточных операциях. Значение высоты необходимо для определения величины рабочего хода и закрытой высоты пресса, а также для конструирования штампа.

Сопряжения стенок и дна по радиусу применяют для колпачков диаметром менее 60 мм в случае, когда нижнее расположение пуансона не зависит от диаметра. Для больших параметров колпачков предпочтение следует отдать сопряжению по конусу. Меньший диаметр конуса принимают равным диаметру последующей вытяжки, а угол конуса равным 45° (рис. 1.33). Следует указать, что конусная форма для колпачка позволяет увеличить поверхность заготовки и улучшить условия вытяжки. При сопряжении по радиусу стенок и дна

детали у полуфабриката первой вытяжки r принимают равным $0,5r_m$ (см. стр. 55), а на последующих вытяжках значение r постепенно уменьшают до приведенных на чертеже, но не более $0,25$ диаметра пуансона. Любой промежуточный радиус можно рассчитать по формуле

$$r_i = \frac{d_{i-2} - d_{i-1} - S}{2}. \quad (1.26)$$

Высоту деталей, стенки которых с дном сопрягаются по радиусу, находят из выражения:

– для первой операции

$$H_1 = 0,25 \cdot \left(\frac{D}{m_1} - d_1 \right) + 0,43 \cdot \frac{r_1}{d_1} \cdot (d_1 + 0,32 \cdot r_1), \quad (1.27)$$

– для любой промежуточной операции

$$H_1 = 0,25 \cdot \left(\frac{D}{m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_n} - d_i \right) + 0,43 \frac{r_i}{d_i} \cdot (d_i + 0,32 \cdot r_i), \quad (1.28)$$

Высоту деталей, боковые стенки которых сопрягаются с дном по конусу, находят из выражений:

– для первой вытяжки

$$H_1 = 0,25 \cdot \left(\frac{D}{m_1} - d_1 \right) + 0,57 \cdot \frac{h_1}{d_1} \cdot (d_1 + 0,86 \cdot h_1), \quad (1.29)$$

– для любой промежуточной вытяжки

$$H_1 = 0,25 \cdot \left(\frac{D}{m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_n} - d_i \right) + 0,57 \frac{h_i}{d_i} \cdot (d_i + 0,86 \cdot h_i), \quad (1.30)$$

где h_i – высота конуса.

1.10 Вытягиваемые листоштампованные заготовки. Задание 3

Цель задания – освоить методику и приобрести навыки проектирования заготовок, получаемых вытяжкой.

Содержание задания:

– изучить рекомендации и требования, предъявляемые к вытягиваемым заготовкам;

– по варианту индивидуального задания оценить технологичность изделия, скорректировать форму в соответствии с рекомендациями, назначить размеры и выполнить чертёж с соблюдением требований ЕСКД.

Рекомендации и требования, предъявляемые к конфигурации вытягиваемых заготовок

На рисунке 1.34 приведены примеры рекомендаций по выбору наиболее рациональной формы вытягиваемых изделий. Плоское дно более рационально, чем сферическое (рис. 1.34 а). Переходы в ступенчатых изделиях следует выполнять наклонными. При этом разность диаметров ступеней предусматривать минимальной (рис. 1.34 б). Следует избегать криволинейных и сферических боковых поверхностей (рис. 1.34 в). Выступы следует выполнять наклонными с минимальной высотой (рис. 1.34 г). Изделия больших габаритных размеров с плоским дном более склонны к перекосу, чем выпуклые (рис. 1.34 д). Изделия со сферическим дном следует выполнять с небольшим выступом $h \approx S$, облегчающим удержание заготовки при вытяжке (рис. 1.13 е).

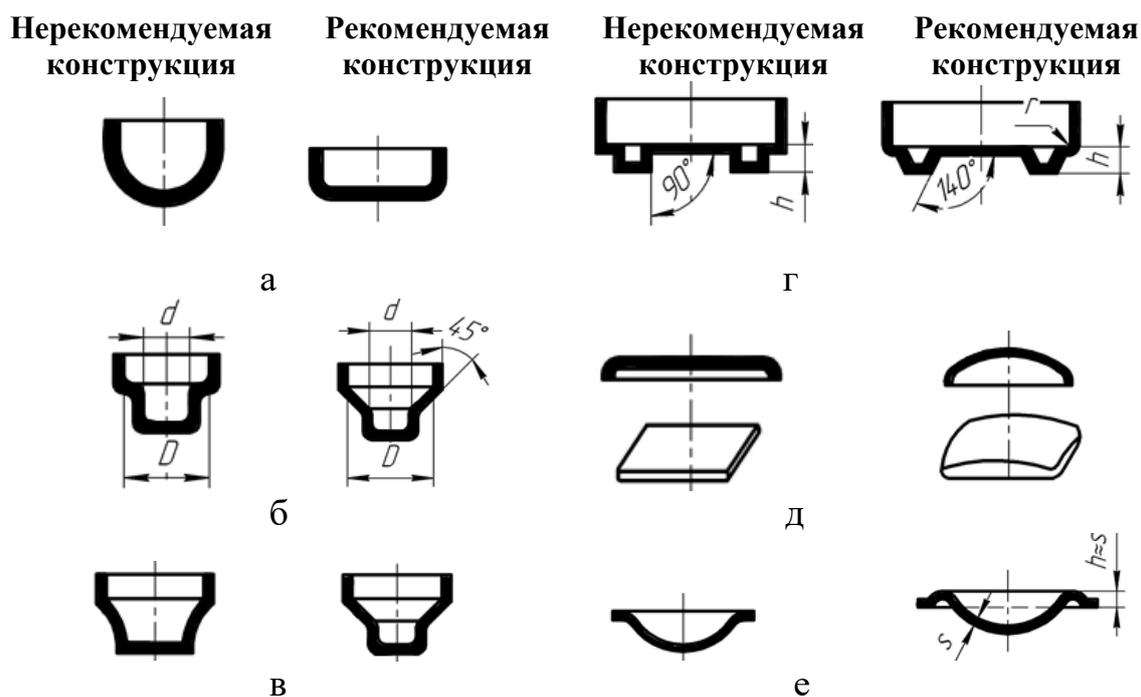
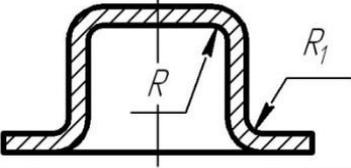
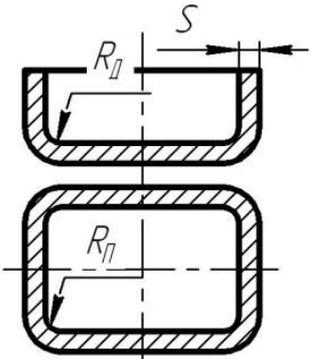


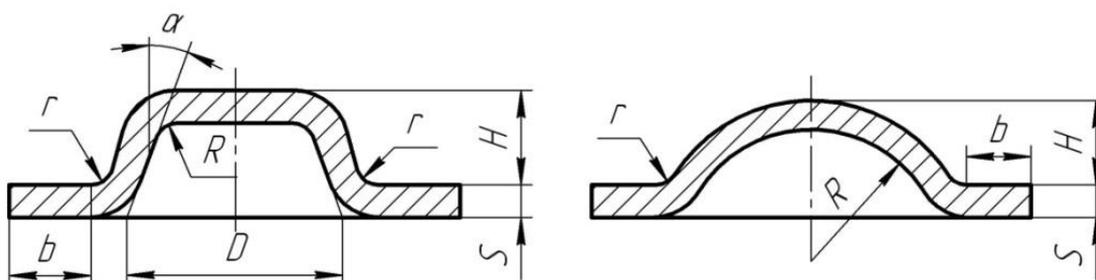
Рисунок 1.34 – Рекомендуемые формы изделий

От радиуса сопряжений элементов заготовки зависят напряжения в материале, а значит, возможность обрывов и складкообразования. Рекомендуемые значения радиусов сопряжения приведены в таблице 1.27.

Таблица 1.27 – Рекомендуемые значения радиусов сопряжений

Вид детали	Место расположения радиуса закругления	Рекомендуемые значения
	Между дном и стенкой R (радиус дна)	$R \geq S$
	Между фланцем и стенкой R_1 (радиус фланца)	$R_1 \geq (2-3)S$
	Между дном и стенкой $R_д$ (радиус дна)	$R_д = 1,5S$ желательно $R_д = R_п$
	Между боковыми стенками $R_п$ (радиус в плане)	$R_п \geq 3S$

На рисунке 1.35 представлены примеры форм и относительные размеры заготовок, вытягиваемых за одну операцию.



$$H \leq (1,5-2)S; R \geq (1-1,5)S; \alpha \geq 15-20^\circ; D \geq 3H; r = 0,5S; b \geq (3-3,5)S$$

$$R \geq (3-4)S; H \leq 2S; r = 0,5S; b \geq (3-3,5)S$$

Рисунок 1.35 – Технологические требования к заготовкам, вытягиваемым за одну операцию

Минимальное расстояние между отверстиями во фланце определяют из соотношения (пояснения см. на рис. 1.36)

$$A \geq D + 2S + 2r + d_1. \quad (1.31)$$

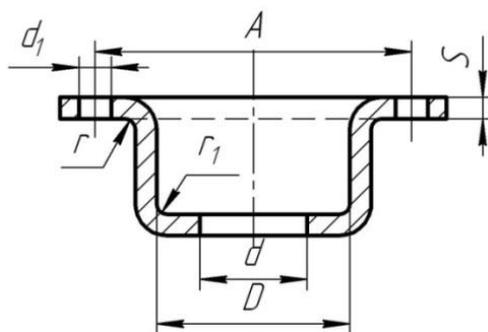


Рисунок 1.36 – Технологические требования к расположению отверстий

Разработка чертежа вытягиваемой заготовки

Точность заготовок, полученных вытяжкой, зависит от их габаритов и толщины материала. Допуски на диаметры приведены в таблице 1.28.

Таблица 1.28 – Допуски на диаметры заготовок, получаемых вытяжкой

Диаметр	Размеры в мм		
	Толщина материала		
	До 1	Св. 1 до 2	Св. 2 до 5
6–10	0,030	–	–
10–18	0,035	0,035	0,035
18–30	0,045	0,045	0,140
30–50	0,050	0,050	0,170
50–80	0,060	0,060	0,200
80–120	0,070	0,230	0,230
120–180	0,260	0,260	0,530
180–260	0,300	0,300	0,600
260–360	0,340	0,680	0,680
360–500	0,760	0,760	0,760

В таблице 1.29 приведены допускаемые отклонения по высоте полых цилиндрических заготовок с фланцем, которыми следует руководствоваться при проектировании заготовок.

Таблица 1.29 – Отклонения по высоте заготовок с фланцем

Толщина материала, мм	Высота вытяжки H , мм						
	До 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 260
До 1	$\pm 0,3$	$\pm 0,4$	$\pm 0,5$	$\pm 0,6$	$\pm 0,8$	$\pm 1,0$	$\pm 1,2$
1...2	$\pm 0,4$	$\pm 0,5$	$\pm 0,6$	$\pm 0,7$	$\pm 0,9$	$\pm 1,2$	$\pm 1,4$
2...4	$\pm 0,5$	$\pm 0,6$	$\pm 0,7$	$\pm 0,8$	$\pm 1,0$	$\pm 1,4$	$\pm 1,6$
4...6	$\pm 0,6$	$\pm 0,7$	$\pm 0,8$	$\pm 0,9$	$\pm 1,1$	$\pm 1,6$	$\pm 1,8$

Вследствие анизотропии свойств материала верхние кромки заготовок (рис. 1.37 а) или края фланцев (рис. 1.37 б) после вытяжки получаются неровными. При расчёте размеров заготовок необходимо учесть припуск на обрезку неровных кромок (ΔD).

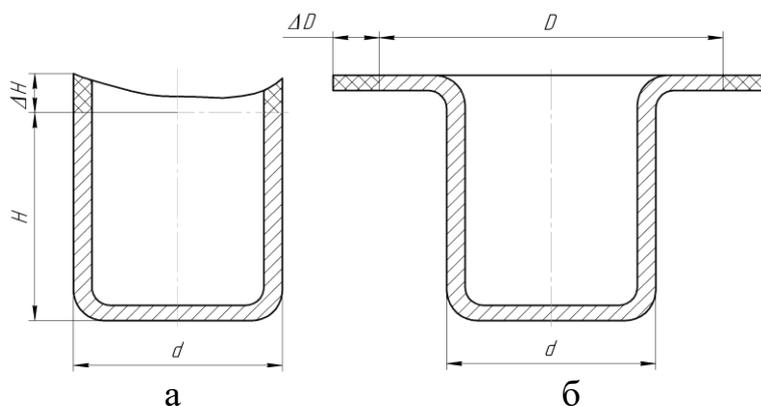


Рисунок 1.37 – Схема расположения припусков на обрезку:
а – по высоте детали; б – по диаметру фланца

В таблицах 1.30 и 1.31 приведены величины припусков на обрезку цилиндрических заготовок без фланца и с фланцем.

Таблица 1.30 – Припуск по высоте заготовок без фланца

Высота детали H , мм	Относительная высота без фланца H/d , мм			
	0,5–0,8	0,8–1,6	1,6–2,5	2,5–4,0
	Припуск ΔH , мм			
10	1,5	1,8	2,3	3,0
20	2,2	3,0	3,7	4,5
50	3,5	4,5	6,0	7,0
100	5,0	6,5	8,5	10,0
150	6,5	8,0	10,5	12,0
200	7,5	9,0	12,0	15,0
250	9,0	11,0	13,5	16,0
300	10,0	13,0	15,0	18,0

Примечание. Для деталей толщиной $S \leq 0,5$ мм табличные данные следует увеличить на 30 %.

Таблица 1.31 – Припуски заготовки по диаметру фланца

Диаметр детали D , мм	Относительный диаметр детали с фланцем D/d мм			
	До 1,5	1,5–2,0	2,0–2,5	2,5–3,0
	Припуск ΔD на сторону, мм			
25	2,5	2,2	2,0	1,5
50	4,0	3,0	2,5	2,5
100	5,0	4,5	3,7	3,0
150	6,0	5,0	4,0	3,5

Окончание таблицы 1.31

200	7,0	6,0	5,0	4,0
250	8,0	7,0	5,5	4,2
300	9,0	7,5	6,0	4,5

Простановка размеров

При простановке размеров заготовок, получаемых вытяжкой, необходимо исходить из возможности расчленения заготовки на элементарные части. Размеры можно указывать как по внутренним, так и по наружным стенкам. Размеры уступов по высоте лучше проставлять между односторонними поверхностями. За базу лучше принимать доннюю часть заготовки (рис. 1.38). При пробивке отверстий в донней части заготовки за базу рекомендуется принимать боковые стенки, по которым фиксируется заготовка при пробивке.

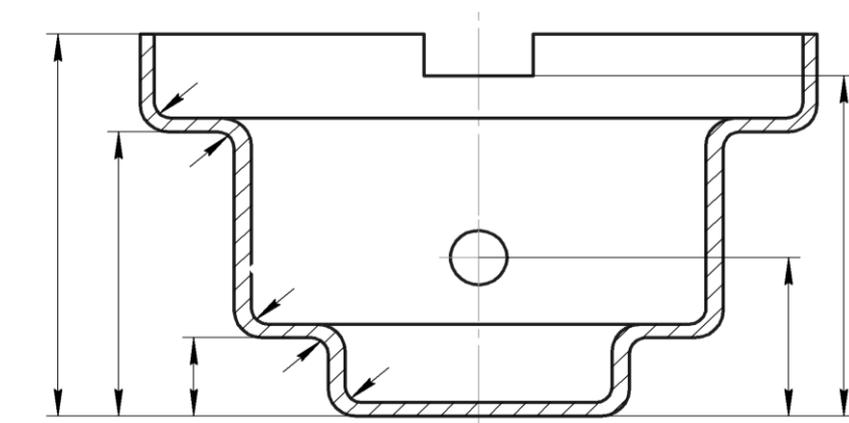
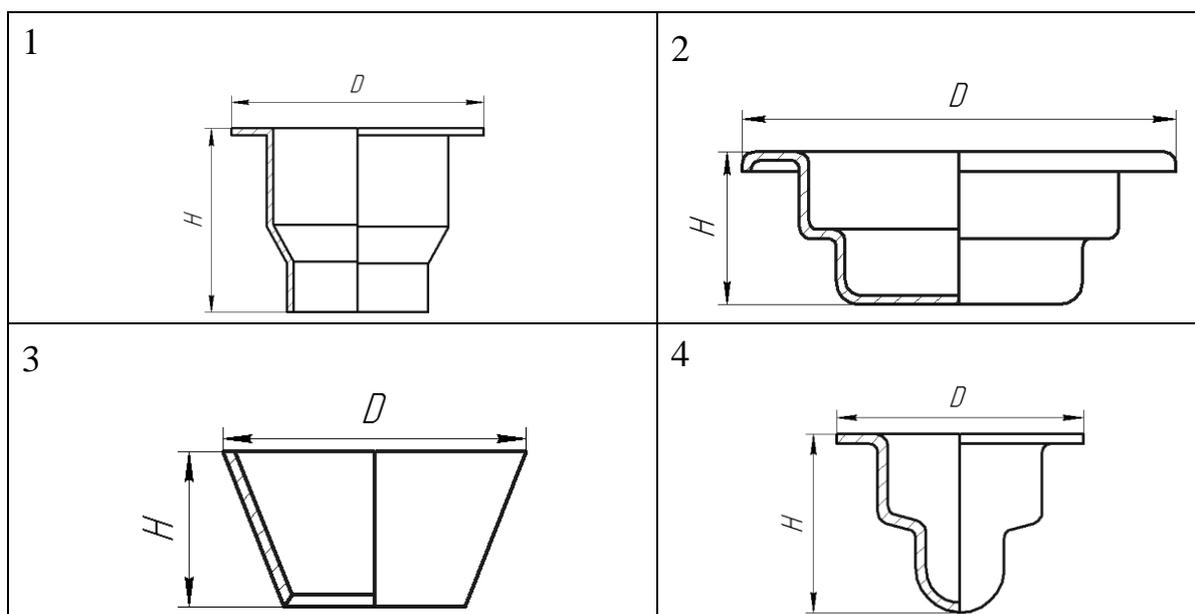
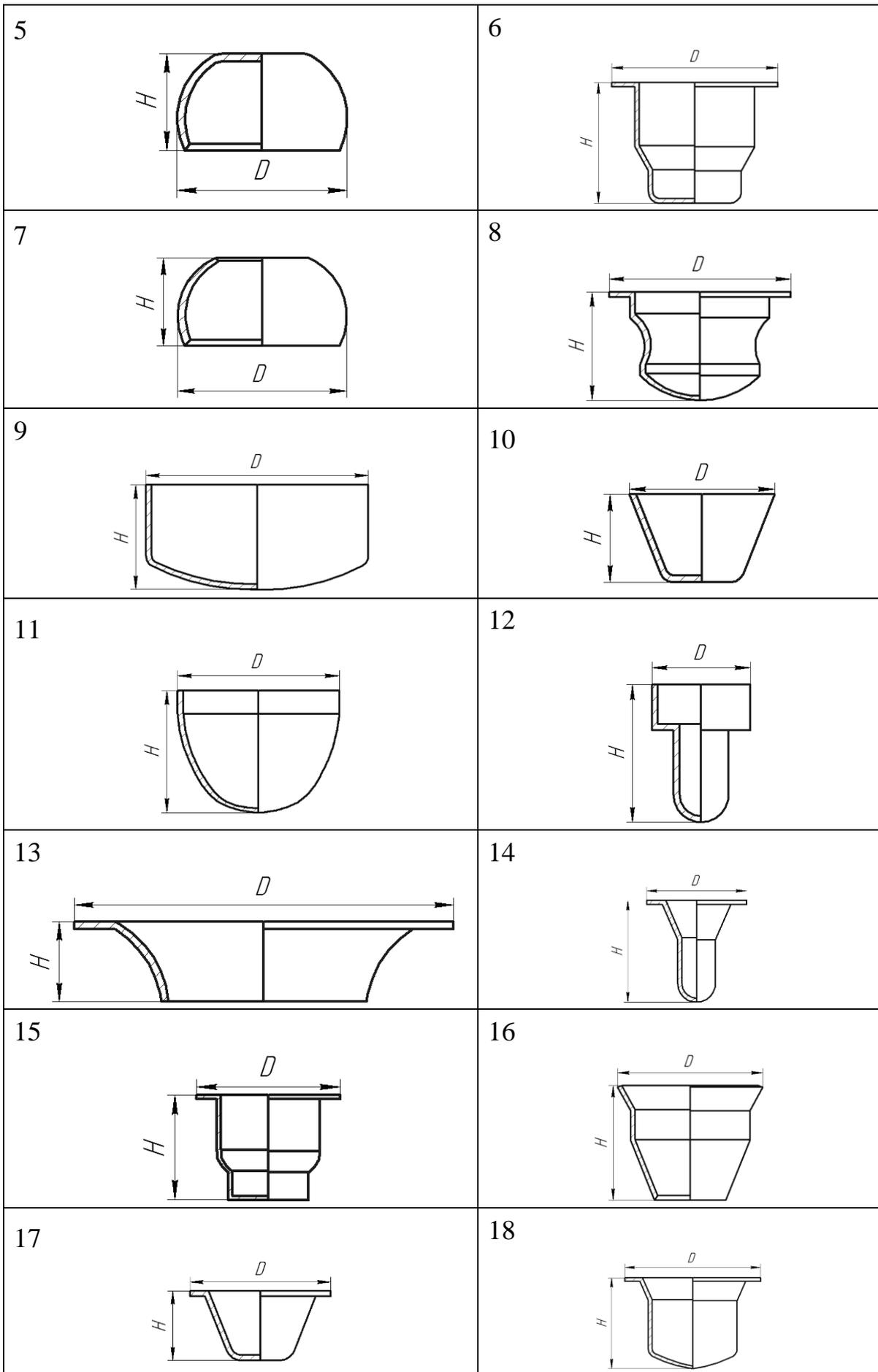
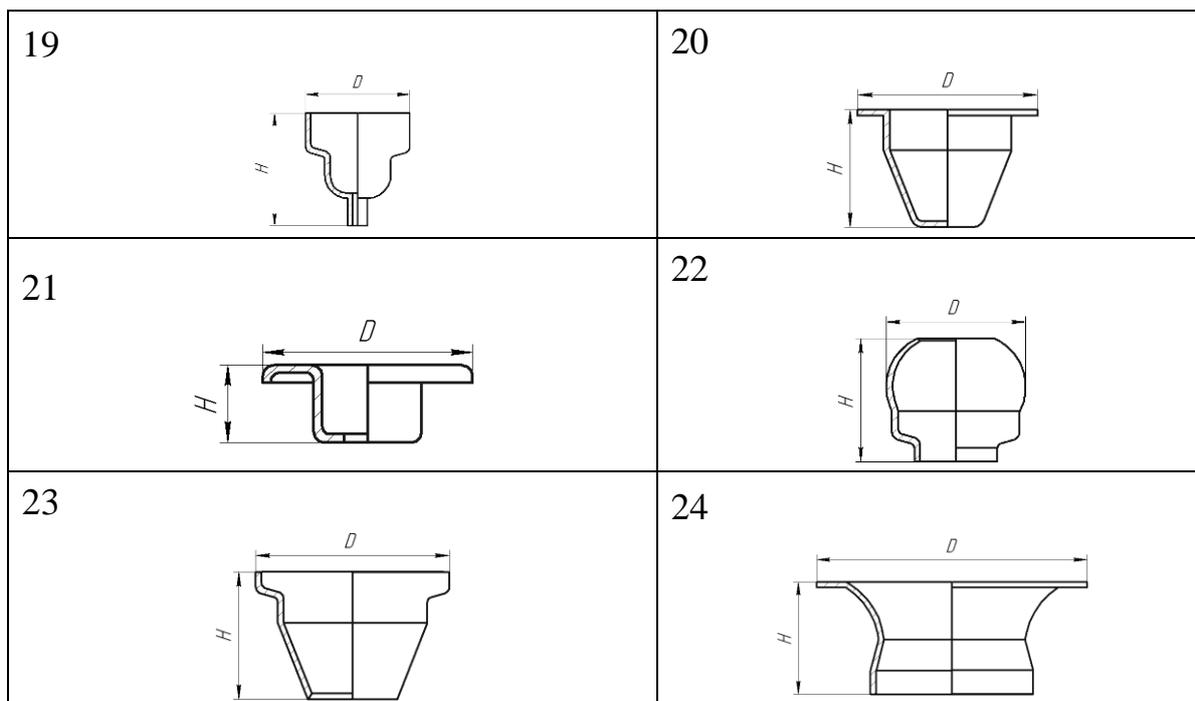


Рисунок 1.38 – Схема простановки размеров заготовки, получаемой ВЫТЯЖКОЙ

Варианты к заданию 3







№	D , мм	H , мм	№	D , мм	H , мм
1	55	80	13	80	55
2	80	50	14	60	75
3	55	50	15	65	75
4	60	80	16	55	70
5	50	55	17	70	55
6	65	80	18	60	70
7	65	60	19	65	70
8	90	50	20	55	85
9	65	80	21	60	50
10	60	65	22	60	85
11	65	70	23	65	85
12	55	75	24	75	60

S^* – толщина деталей выбирается в соответствии с сортаментом листового и полосового проката

1.11 Вытяжка с утонением

Вытяжка с утонением применяется для получения высоких пустотелых деталей или полуфабрикатов, у которых толщина донной части больше толщины стенки. Вытяжка с утонением осуществляется протягиванием заготовки в виде колпачка (полученного вытяжкой или каким-либо другим способом) через матрицу, при этом зазор Z между пуансоном и матрицей должен быть меньше толщины стенки S заготовки $Z = (D_m - D_n)/2 < S$.

В процессе вытяжки с утонением происходит уменьшение первоначальной толщины стенки заготовки при относительно небольшом уменьшении ее диаметра. Если учесть, что относительное уменьшение диаметра мало по сравнению с деформациями в осевом (увеличение длины) и радиальном (уменьшение толщины стенки) направлениях, то с небольшой погрешностью можно считать, что вытяжка с утонением происходит в условиях плоского симметричного деформированного состояния.

Вытяжка с утонением осуществляется следующим образом. На заготовку через пуансон передается усилие пресса P_{np} (рис. 1.39 а). В процессе вытяжки заготовка скользит относительно пуансона вверх, в результате возникают контактные силы трения между пуансоном и заготовкой F_{mp} , направленные по ходу движения пуансона. Одновременно заготовка скользит относительно матрицы в направлении движения пуансона. При этом возникают контактные силы трения между матрицей и заготовкой F_m , направленные против движения пуансона.

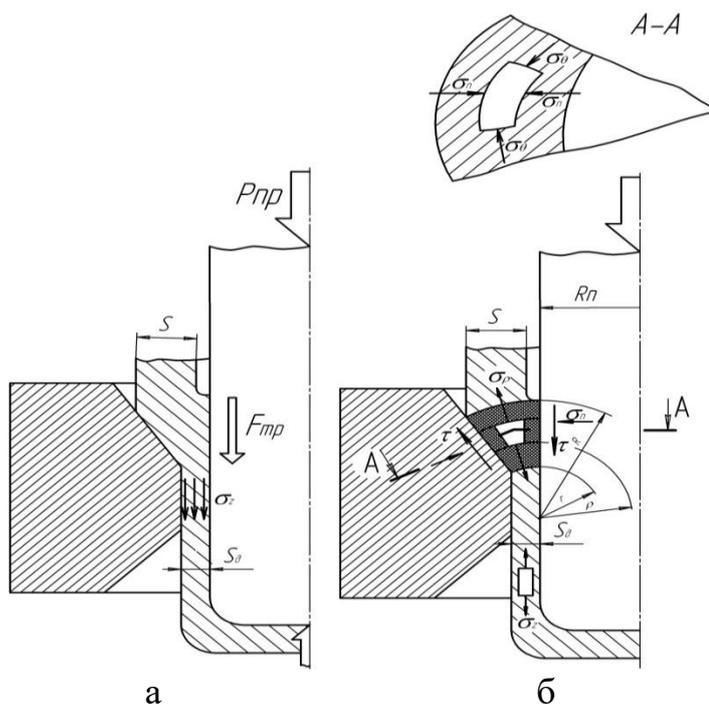


Рисунок 1.39 – Схемы действия сил (а) и напряжений (б) при вытяжке с утонением

При деформировании элементарного объёма, выделенного в очаге деформации, возникают нормальные растягивающие σ_r , нормальные сжимающие σ_n , окружные сжимающие σ_θ и контактные τ напряжения (рис. 1.39 б).

Силы трения на поверхности контакта заготовки и пуансона разгружают опасное сечение, уменьшая растягивающие напряжения σ_r .

Особенность напряженного состояния при вытяжке с утонением заключается в том, что касательные напряжения τ на поверхности контакта заготовки матрицы и пуансона направлены в разные стороны, а сжимающие напряжения σ_n по абсолютному значению велики по сравнению с напряжениями τ , σ_p и σ_θ . Рассмотренная особенность напряженного состояния очага пластической деформации – основная причина того, что допускаемая степень деформации при вытяжке с утонением выше, чем при вытяжке без утонения стенки.

Вытяжка с утонением нашла широкое применение в производстве гильз, оболочек пуль, сильфонов, цилиндрических деталей и др. Этим способом получают детали с классом допуска ***h9–h12***. Допуск на толщину стенки составляет 15–25 % номинальной толщины стенки, допуск на высоту – до 15 % высоты изделия.

1.12 Заготовки, получаемые вытяжкой с преднамеренным утонением стенок. Задание 4

Содержание задания:

- ознакомиться с методикой расчета заготовок, изготавливаемых вытяжкой с утонением стенок;
- по варианту индивидуального задания рассчитать размеры и выполнить операционные чертежи изделий на промежуточных переходах.

Расчёт заготовок

Расчёт исходной заготовки основан на равенстве объёмов заготовки и изделия. Поскольку в процессе вытяжки с преднамеренным утонением толщина донной части не изменяется, толщину материала исходной заготовки принимают равной толщине донной части изделия. Для обеспечения припуска на обрезку и угар при отжиге объём исходной заготовки увеличивают на 15...20 % по сравнению с объёмом готового изделия.

Диаметр исходной плоской заготовки определяют по формуле

$$D_0 = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{V_{\text{изд}}}{S}}, \quad (1.32)$$

где $V_{\text{изд}}$ – объём материала готового изделия; S – толщина исходной заготовки.

Количество переходов и размеры полуфабрикатов

Коэффициент вытяжки с утонением определяют по формуле

$$m_{\text{ут}} = \frac{S_n}{S_{n-1}}, \quad (1.33)$$

где S_{n-1} – толщина стенки до вытяжки на предшествующем переходе;
 S_n – толщина стенки после вытяжки на последующем переходе.

Значения коэффициентов вытяжки $m_{\text{ут}}$ принимаются по таблице 1.32.

Таблица 1.32 – Значение коэффициентов вытяжки с утонением

Материал	Первый переход	Последующие переходы
Латунь	0,70	0,55
Алюминий	0,75	0,60
Сталь малоуглеродистая	0,75	0,65
Сталь среднеуглеродистая	0,85	0,75

Наружный диаметр колпачка после первой вытяжки из плоской заготовки принимают (рис. 1.40 в)

$$d_{\text{м1}} = 0,75 \cdot D_0. \quad (1.34)$$

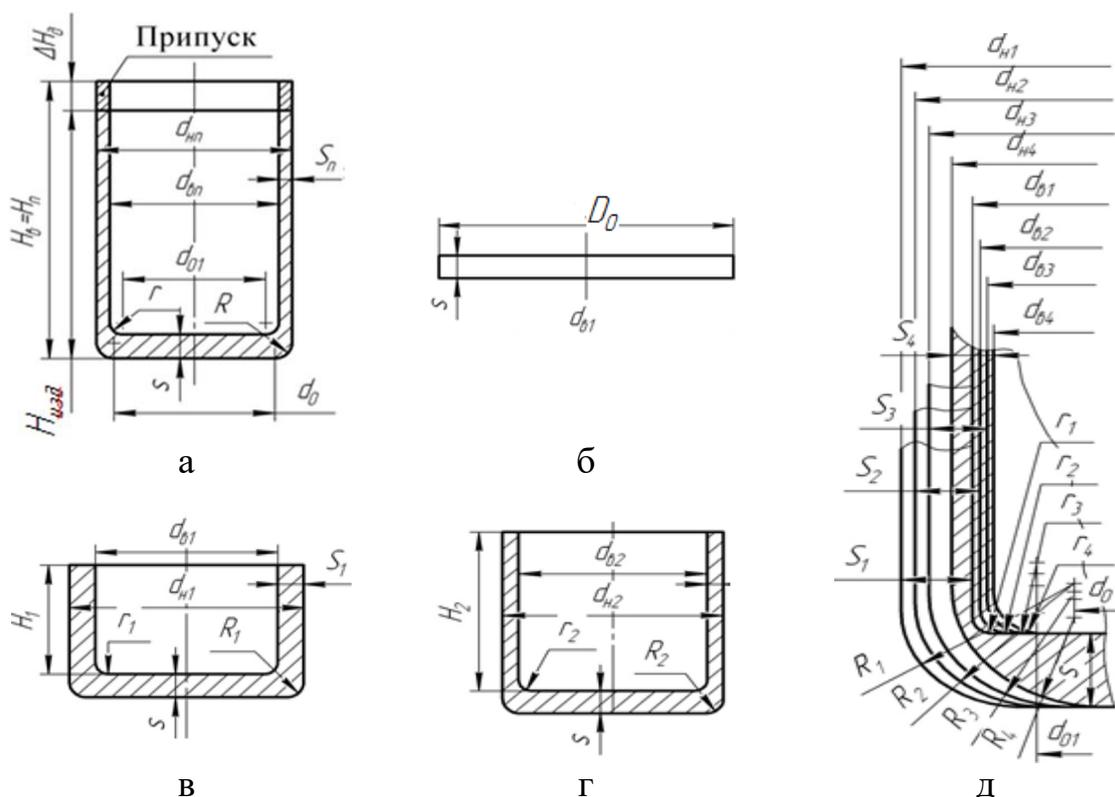


Рисунок 1.40 – Схемы операционных переходов вытяжки с утонением:
 а – изделие; б – исходная плоская заготовка; в, г – изделия,
 соответственно после первой и второй вытяжки; д – схемы
 совмещенных операционных переходов

Толщина стенки на первом переходе составит

$$S_1 = m_{\text{ут}} \cdot S. \quad (1.35)$$

На каждом переходе внутренний диаметр изделия уменьшается на 0,10–0,30 мм

$$d_{\text{в.}n} = d_{\text{в.}n-1} - (0,15 \div 0,3), \text{ мм.} \quad (1.36)$$

Толщина стенки на каждом переходе уменьшается

$$S_n = m_{\text{ут.}n} \cdot S_{n-1}. \quad (1.37)$$

Высота изделия на первом переходе вытяжки равна

$$H_1 = \frac{S}{2 \cdot S_1} \cdot \frac{D_0^2 - d_{\text{н.}1}^2}{d_{\text{н.}1} + d_{\text{в.}1}}. \quad (1.38)$$

На промежуточном переходе

$$H_n = \frac{S}{2 \cdot S_n} \cdot \frac{D_0^2 - d_{\text{н.}n}^2}{d_{\text{н.}n} + d_{\text{в.}n}}. \quad (1.39)$$

В приведенных выше формулах расчёта высоты изделия условно принято, что на всех переходах радиусы закругления (наружный и внутренний) у донной части изделия близки к нулю. Фактически радиусы закругления r_1 на первом переходе принимаются так же, как и для вытяжки без утонения. На последующих переходах радиусы уменьшаются.

Пример расчёта операционных размеров полуфабрикатов, получаемых вытяжкой с утонением. Исходные данные (рис. 1.40): $H_{\text{изд}} = 79$ мм; $S = 4$ мм; $d_{\text{п}} = 25$ мм; $d_{\text{вп}} = 24$ мм. Материал – сталь малоуглеродистая.

Объём изделия равен разности наружного и внутреннего объёма

$$V_{\text{изд}} = \frac{\pi}{4} \cdot [d_{\text{нп}}^2 \cdot H_{\text{изд}} - d_{\text{вп}}^2 \cdot (H_{\text{изд}} - S)], \quad (1.40)$$

$$V_{\text{изд}} = \frac{3,14}{4} \cdot [25^2 \cdot 79 - 24^2 \cdot 75] = 4840 \text{ мм}^2.$$

Объём заготовки увеличивают на величину припусков:

$$V_3 = 1,15 \cdot V_{\text{изд}} = 1,15 \cdot 4840 = 5566 \text{ мм}^2.$$

Толщину исходной заготовки принимают равной толщине дна изделия $S_3 = 4$ мм.

Диаметр исходной заготовки определяют по формуле (1.32):

$$D_0 = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{5566}{4}} \approx 41,5 \text{ мм.} \quad (1.41)$$

Число переходов и толщину материала на каждом переходе определяют по формуле 1.33. Коэффициент утонения на первом переходе принимают $m_{yt} = 0,75$, для последующих $m_{yt} = 0,7$. Результаты расчёта записывают в виде таблицы.

Таблица 1.33 – Результаты вычисления количества переходов и толщины стенки

Номер перехода	Исходная толщина материала, мм	Коэффициент утонения, m_{yt}	Толщина стенки на каждом переходе, мм
1	4,00	0,75	3,00
2	3,00	0,70	2,10
3	2,10	0,70	1,47
4	1,47	0,70	1,03
5	1,03	0,70	0,72
6	0,72	0,70	0,50

Определяют внутренний и наружный диаметры по переходам. Уменьшение внутреннего диаметра в соответствии с формулой (1.37) уменьшают на каждом переходе на 0,25 мм.

Таблица 1.34 – Результаты вычислений параметров изделия

Переходы	1	2	3	4	5	6
Внутренний диаметр, мм	25,25	25,0	24,75	24,50	24,25	24,0
Толщина стенки, мм	3,00	2,1	1,47	1,03	0,72	0,5
Наружный диаметр, мм	31,25	29,2	27,69	26,56	25,69	25,0

По формуле 1.40 определяют высоту изделий на переходах

$$H_1 = \frac{4 \cdot (41,5^2 - 31,5^2)}{2 \cdot (31,25 + 25,25) \cdot 3} = 11,4 \text{ мм,}$$

$$H_2 = \frac{4 \cdot (41,5^2 - 29,2^2)}{2 \cdot (29,2 + 25,0) \cdot 2,1} = 15,2 \text{ мм,}$$

$$H_3 = \frac{4 \cdot (41,5^2 - 31,527,69^2)}{2 \cdot (27,69 + 24,75) \cdot 1,41} = 24,9 \text{ мм,}$$

$$H_4 = \frac{4 \cdot (41,50^2 - 26,56^2)}{2 \cdot (26,56 + 24,50) \cdot 1,03} = 38,8 \text{ мм,}$$

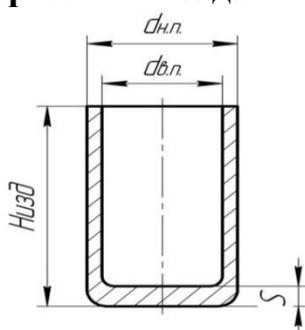
$$H_5 = \frac{4 \cdot (41,50^2 - 25,69^2)}{2 \cdot (25,69 + 24,25) \cdot 0,72} = 59,5 \text{ мм},$$

$$H_6 = \frac{4 \cdot (41,50^2 - 25,00^2)}{2 \cdot (25 + 24) \cdot 0,5} = 89,6 \text{ мм}.$$

Радиус закругления на первом переходе принимается как для обычной вытяжки без утонения, т. е. $r_1 = 4$ мм. Для последующих переходов радиус закругления уменьшается на величину $0,08 \div 0,15$ мм. Радиусы закруглений будут равны

$$r_2 = 3,9 \text{ мм}; r_3 = 3,8 \text{ мм}; r_4 = 3,7 \text{ мм}; r_5 = 3,6 \text{ мм}; r_6 = 3,5 \text{ мм}.$$

Варианты к заданию 4



Номер варианта	Общая высота, мм $H_{изд}$	Наружный диаметр, мм $d_{нп}$	Внутренний диаметр, мм $d_{вп}$	Толщина, мм S	Материал
1	50	20	15	10	Латунь
2					Алюминий
3					Сталь
4	60	18	13	8	Латунь
5					Алюминий
6					Сталь
7	70	16	11	6	Латунь
8					Алюминий
9					Сталь
10	80	14	9	4	Латунь
11					Алюминий
12					Сталь
13	100	12	7	3	Латунь
14					Алюминий
15					Сталь
16	110	10	5	3	Латунь
17					Алюминий
18					Сталь
19	120	8	6	3	Латунь
20					Алюминий
21					Сталь

S^* – толщина деталей выбирается в соответствии с сортаментом листового и полосового проката

2 ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ЗАГОТОВОК МЕТОДАМИ ОБЪЁМНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

2.1 Общая характеристика процесса

Методами объёмного деформирования могут быть обработаны почти все металлы и сплавы. Для труднодеформируемых и малопластичных сплавов применяются способы специальной обработки. Номенклатура изделий, полученных обработкой давлением, исчисляется сотнями тысяч. Обработанный давлением металл после термической обработки имеет высокие механические характеристики (ударную вязкость, относительное удлинение, усталостную прочность), значительно превосходящие соответствующие характеристики литого металла.

Основными процессами формообразования заготовок являются штамповка на молотах, прессах, горизонтально-ковочных машинах, прессование, вальцовка, раскатка и др. Объёмным деформированием могут быть получены поковки из всех пластичных металлов весом от десятков граммов до нескольких тонн. Стоимость штампованных изделий с последующей механической обработкой резанием в 2–2,5 раза ниже стоимости изделий, обработанных только резанием.

По мере совершенствования обработки давлением получают заготовки, которые по параметрам шероховатости поверхности, точности линейных размеров соответствуют точению, фрезерованию и даже шлифованию. Специальные виды обработки (калибровка, выдавливание) обеспечивают получение готовых изделий, пригодных для сборки без дополнительной механической обработки.

Процессы обработки давлением характеризуются относительной малооперационностью (нагрев, деформация, обрезка облоя, охлаждение), высокой производительностью, большой металлоёмкостью и энергоёмкостью. Эффективность применения новых технологических процессов обработки давлением определяется стойкостью инструмента, доля которого в себестоимости заготовок составляет в среднем 5–8 %, в ряде случаев она достигает 40 %.

Обеспечение высокой стойкости инструмента в условиях интенсификации производства и повышения требований к качеству заготовок возможно на базе расширения комплекса вопросов, включающих доводку конструкции и геометрии инструмента, создание высокопрочных, жаростойких и износостойких инструментальных материалов и покрытий, эффективных смазок и охлаждающих жидкостей, разработку прогрессивных технологий обработки инструмента.

2.2 Исходные материалы

Исходными стальными заготовками для горячей обработки давлением являются слитки, обжатые болванки (блюмы), сортовой прокат и индивидуальные заготовки.

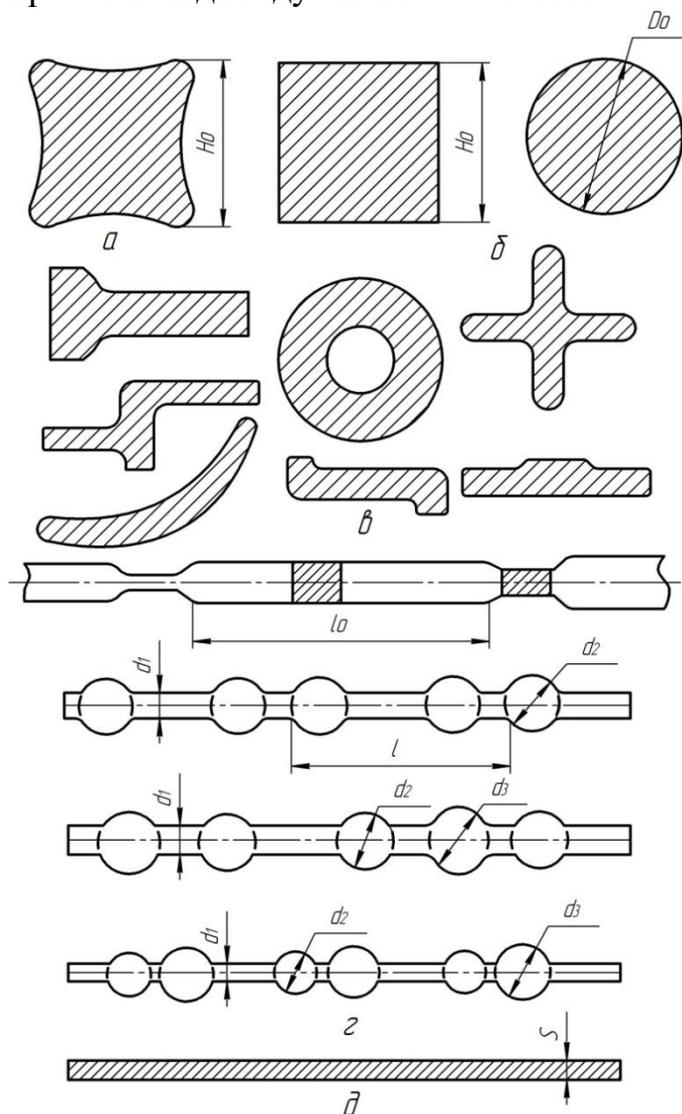


Рисунок 2.1 – Типы прокатных профилей, применяемых дляковки и штамповки: а – обжатая болванка; б – сортовой прокат; в – профильный прокат; г – прокат периодического профиля; д – полосовая заготовка; H_0 – сторона квадрата; D_0 – диаметр заготовки; L_0 – длина периода заготовки; S – толщина полосы

Слитки являются заготовками для кованных крупных поковок. В зависимости от габаритных размеров и конструкций изделий вес слитка может составлять 1,2–350 тонн. Слитки изготавливаются в форме усеченной пирамиды. Поперечное сечение бывает квадратным, круглым, многоугольным. Слитки отличаются химической неоднородностью по объёму и содержат значительное количество дефектов: усадочную рыхлость, трещины, газовые пузыри, неметаллические включения.

Обжатая болванка в поперечном сечении представляет квадрат с вогнутыми гранями и закругленными ребрами (рис. 2.1 а). Размеры H_0 стороны болванок составляют 140–450 мм с допусками от ± 5 до ± 10 мм при минимальной длине 1 м и максимальной 6 м. Этот вид заготовки может применяться для относительно больших поковок.

Сортовой прокат (рис. 2.1 б).

К нему относится катаная заготовка квадратного и круглого сечения. Размеры квадратного сечения (размеры сторон) 6–250 мм, при торговой длине 2–6 м и круглого сечения заготовки (диаметр) 5–200 мм.

Профильный прокат (рис. 2.1 в) имеет разнообразную форму сечения. Применение профильного проката связано с сокращением подготовительных операций при штамповке. При использовании такого проката удается значительно упростить процесс штамповки, при этом стоимость поковок обычно снижается.

Прокат периодического профиля (рис. 2.1 г) имеет неодинаковые поперечные сечения по длине. Получают его продольной прокаткой или поперечной прокаткой на специальных станах. Прокат периодического профиля находит применение в крупносерийном и массовом производстве фасонных поковок.

Полосовая заготовка (рис. 2.1 д) для горячей штамповки применяется толщиной более 5 мм. Наибольшее распространение получила углеродистая полосовая сталь. Также применяются конструкционная, специальная, качественная и высококачественная стали.

Индивидуальные заготовки по профилю подразделяются на простые и фасонные (рис. 2.2). К заготовкам простого профиля относятся круглые, квадратные и прямоугольные заготовки.

Фасонные заготовки имеют переменное сечение по оси и более сложную конфигурацию, которая может быть получена литьём, ковкой, предварительной штамповкой, прокаткой или вальцовкой. Заготовки простого и фасонного профилей бывают штучными, спаренными и многоштучными (рис. 2.2). По размерам заготовки подразделяются на мерные, кратные и произвольной длины.

2.3 Общие сведения о конструктивных и технологических параметрах заготовок, изготавливаемых методами горячей объёмной штамповки

Достоинством горячей штамповки является снижение усилия деформации, которая, по сравнению с холодной обработкой, может быть меньше в 30–40 раз. Пластичность металла при нагреве возрастает, что позволяет получать поковки сложной формы.

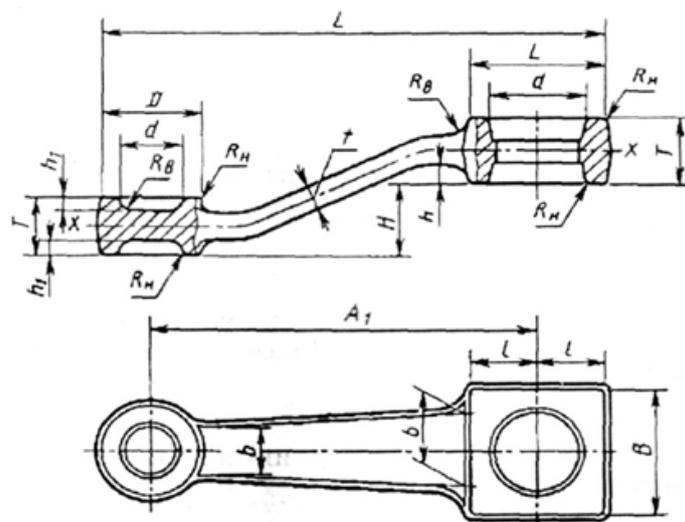
Горячей объёмной штамповкой получают заготовки (поковки) ответственных изделий всех отраслей машиностроения. Этот способ наиболее эффективен при массовом, крупносерийном и серийном производстве поковок массой от нескольких граммов до нескольких тонн. Наиболее целесообразно изготовление поковок массой не более 50–100 кг.

Тип заготовки	Заготовка простого профиля	Фасонная заготовка	
		Постоянного профиля	Переменного или периодического профиля
Штучная			
Спаренная			
Многоштучная			

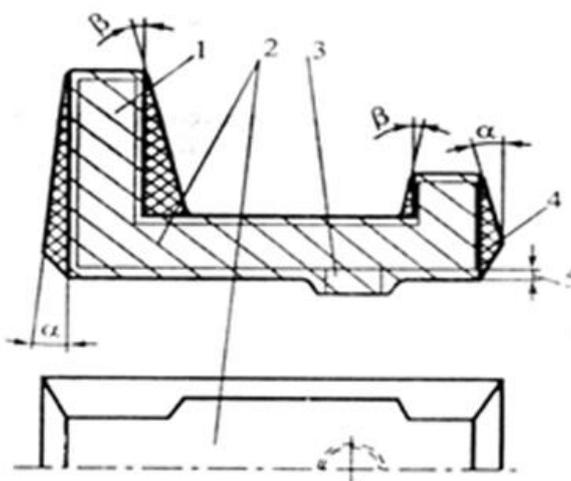
Рисунок 2.2 – Классификация заготовок:
 H_0 ; D_0 ; L_0 – размеры заготовок

Обозначения размеров и названия конструктивных элементов поковок приведены на рисунке 2.3 а.

Элементы поковок показаны на рисунке 2.3 б.



а



б

Рисунок 2.3 – Параметры поковок:

а – основные размеры: длина (L, l), ширина (B, b), диаметр (D, d), высота и глубина (H, h), толщина (T, t), радиус закругления внутреннего угла R_n , наружного угла R_b ;

б – элементы поковок: 1 – ребро; 2 – полотно; 3 – бобышка; 4 – напуск; 5 – припуск; α – наружный; β – внутренний штамповочные уклоны

Ребро – тонкая стенка или выступ поковки, расположенной в вертикальной плоскости.

Полотно – тонкая стенка поковки, штампуемая в горизонтальной плоскости.

Бобышка – выступ на поковке, длина которого равна ширине.

Припуск – слой металла, срезаемый при обработке поковки.

Напуск – необходимый избыток металла, вызываемый особенностями технологического процесса формообразования поковки.

К конструктивным параметрам поковок также относятся: класс точности, группа стали, степень сложности, конфигурация поверхности разъема штампа (ГОСТ 7505–89).

Стандарт устанавливает пять классов точности: Т1–Т5, три группы сталей: М1–М3 (в зависимости от содержания углерода и суммарного содержания легирующих добавок), четыре степени сложности: С1–С4 (в зависимости от соотношения объёма или массы поковки и фигуры, в которую она вписывается), три вида конфигурации поверхности разъема штампов: плоскую (П), симметрично изогнутую (И_с), несимметрично изогнутую (И_н).

Класс точности поковки зависит от используемого оборудования, технологического процесса и определяется по таблице 2.1.

Стали с массовой долей углерода до 0,35 % включительно и суммарной массовой долей легирующих элементов до 2,0 % включительно отнесены к первой группе – М1. Ко второй группе (М2) отнесены стали с массовой долей углерода больше 0,35 до 0,65 % включительно или суммарной массовой долей легирующих элементов свыше 2,0 до 5,0 % включительно. К третьей группе – М3 отнесены стали с массовой долей углерода свыше 0,65 % или суммарной массовой долей легирующих элементов свыше 5,0 %.

Таблица 2.1 – Выбор класса точности поковки

Основное деформирующее оборудование, технологические процессы	Класс точности литья				
	Т1	Т2	Т3	Т4	Т5
Кривошипные горячештамповочные прессы: открытая (облойная) штамповка				+	+
закрытая штамповка		+	+		
выдавливание			+	+	
Горизонтально-ковочные машины				+	+
Прессы гидравлические, винтовые				+	+
Горячештамповочные автоматы		+	+		
Штамповочные молоты				+	+
Калибровка объемная (горячая или холодная)	+	+			
Прецизионная штамповка	+				

Степень сложности является одной из конструктивных характеристик формы поковок, качественно оценивающих её, и используется при назначении припусков и допусков.

За критерий для классификации поковок по степени сложности принято отношение массы (объёма) G_n поковки к массе (объёму) G_ϕ

геометрической фигуры, в которую вписывается форма поковки. В качестве такой геометрической фигуры стандарт рекомендует использовать шар, параллелепипед, цилиндр с перпендикулярными к его оси торцами или прямую правильную призму (рис. 2.4).

При вычислении отношения G_n/G_ϕ принимают ту из геометрических фигур, масса (объём) которой наименьшая. При определении размеров, описывающих поковку геометрической фигуры допускается исходить из увеличения в 1,05 раза габаритных линейных размеров детали, определяющих положение её обработанных частей.

Степеням сложности поковок соответствуют следующие численные значения отношения G_n/G_ϕ :

- С1 – св. 0,63 до 1,0;
- С2 – св. 0,32 до 0,63;
- С3 – св. 0,16 до 0,32;
- С4 – до 0,16.

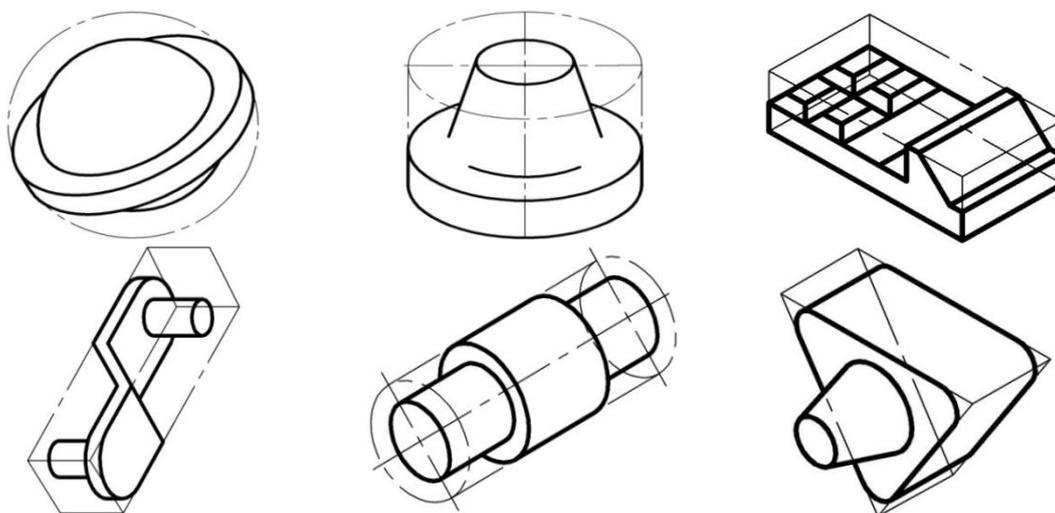


Рисунок 2.4 – Геометрические фигуры для определения степени сложности поковок

Степень сложности С4 устанавливается для поковок с тонкими элементами, например, в виде диска, фланца, кольца (рис. 2.5), в том числе, с пробиваемыми перемычками, а также для поковок с тонкими стержневыми элементами, если отклонение t/D ; t/L ; $t/(D-d)$ не превышает 0,20 и t не более 25 мм (где D – номинальный размер тонкого элемента, d – диаметр элемента поковки, толщина которого превышает t).

Для поковок, полученных на горизонтально-ковочных машинах, допускается определять степень сложности в зависимости от числа переходов: С1 – не более чем при двух переходах; С2 – при трёх переходах; С3 – при четырёх переходах; С4 – более чем при четырёх переходах или при изготовлении на двух ковочных машинах.

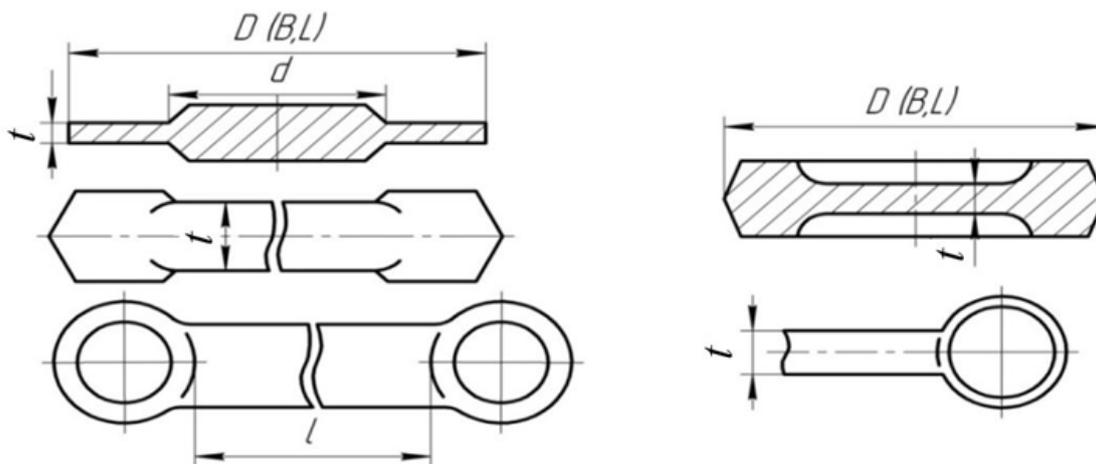


Рисунок 2.5 – Геометрические элементы поковки, определяющие её степень сложности

В качестве показателя, учитывающего в обобщённом виде конструктивные параметры – класс точности, группу стали, степень сложности, конфигурацию поверхности разъёма и массу поковки, принят **исходный индекс**.

Определение исходного индекса начинают с определения массы поковки. Расчетная масса поковки определяется исходя из ее номинальных размеров. Ориентировочную величину расчетной массы поковки G_n допускается вычислять по формуле:

$$G_n = M_{дет} \cdot K_p, \quad (2.1)$$

где G_n – расчётная масса поковки, кг; $M_{дет}$ – масса детали, кг; K_p – расчётный коэффициент, устанавливаемый в соответствии с таблицей 2.2.

Исходный индекс для последующего назначения припусков и допусков поковки определяется в зависимости от массы, марки стали, степени сложности и класса точности поковки (табл. 2.3).

Таблица 2.2 – Коэффициент (K_p) для определения ориентировочной расчётной массы поковки

Группа	Характеристика детали	Типовые представители	K_p
1	2	3	4
1	Удлиненной формы		
1.1	С прямой осью	Валы, оси, цапфы, шатуны	1,3–1,6
1.2	С изогнутой осью	Рычаги, сошки рулевого управления	1,1–1,4
2	Круглые и многогранные в плане		
2.1	Круглые	Шестерни, ступицы, фланцы	1,5–1,8

Окончание таблицы 2.2

2.2	Квадратные, прямоугольные, многогранные	Фланцы, ступицы, гайки	1,3–1,7
2.3	С отрезками	Крестовины, вилки	1,4–1,6
3	Комбинированной (содержащие элементы групп 1 и 2-й конфиг.)	Кулачки поворотные, коленчатые валы	1,3–1,8
4	С большим объёмом необрабатываемых поверхностей	Балки передних осей, рычаги переключения коробок передач, буксирные крюки	1,1–1,3
5	С отверстиями, углублениями, поднутрениями, неоформляемыми в поковке при штамповке	Полые валы, фланцы, блоки шестерён	1,8–2,2

Таблица 2.3 – Таблица для определения исходного индекса

Масса поковки, кг	Группа стали			Степень сложности поковки				Класс точности поковки					Исходный индекс	
	M1	M2	M3	C1	C2	C3	C4	T1	T2	T3	T4	T5		
До 0,5 включ.														1
Св.0,5 до 1,0 "														2
" 1,0 " 1,8 "														3
" 1,8 " 3,2 "														4
" 3,2 " 5,6 "														5
" 5,6 " 10,0 "														6
" 10,0 " 20,0 "														7
" 20,0 " 50,0 "														8
" 50,0 " 125,0 "														9
"125,0 " 250,0 "														10
														11
														12
														13
														14
														15
														16
														17
														18
														19
														20
														21
														22
														23

Примеры.

1. Поковка массой 0,5 кг, группа стали М1, степень сложности С1, класс точности Т2.

Исходный индекс – 3.

2. Поковка массой 1,5 кг, группа стали М3, степень сложности С2, класс точности Т1.

Исходный индекс – 6.

Исходный индекс должен быть указан на чертеже поковки.

Назначение припусков и допусков на механическую обработку

Припуск на механическую обработку включает основной и дополнительные припуски, учитывающие отклонение формы поковки.

Величины припусков назначают на одну сторону номинального размера поковки. Основные припуски на механическую обработку повок в зависимости от исходного индекса устанавливают по таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Основные припуски на механическую обработку (на сторону), мм

Исходный индекс	Толщина детали, мм											
	До 25			25–40			40–63			63–100		
	Длина, ширина, диаметр, глубина и высота детали, мм											
	До 40			40–100			100–160			160–250		
	Ra, мкм											
	100 12,5	10 1,6	1,25	100 12,5	10 1,6	1,25	100 12,5	10 1,6	1,25	100 12,5	10 1,6	1,25
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0,4	0,6	0,7	0,4	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,6	0,8	0,9
2	0,4	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,6	0,8	0,9	0,6	0,8	0,9
3	0,5	0,6	0,7	0,6	0,8	0,9	0,6	0,8	0,9	0,7	0,9	1,0
4	0,6	0,8	0,9	0,6	0,8	0,9	0,7	0,9	1,0	0,8	1,0	1,1
5	0,6	0,8	0,9	0,7	0,9	1,0	0,8	1,0	1,1	0,9	1,1	1,2
6	0,7	0,9	1,0	0,8	1,0	1,1	0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4
7	0,8	1,0	1,1	0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5
8	0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6
9	1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8
10	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9
11	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0
12	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2
13	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5
14	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7
15	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0
16	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3

Окончание таблицы 2.4

17	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5
18	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8
19	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1
20	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7
21	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1
22	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1	4,1	5,1	5,6
23	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1	4,1	5,1	5,6	4,5	5,7	6,2

В зависимости от класса точности Т устанавливают дополнительные припуски, учитывающие смещение поковки (табл. 2.5), изогнутость, отклонение от плоскостности и прямолинейности (табл. 2.6), отклонение межосевого расстояния (табл. 2.7).

Таблица 2.5 – Смещение по поверхности разъёма штампов

Масса поковки, кг	Припуски для классов точности, мм							
	Плоская поверхность разъема (II)							
	T1	T2	T3	T4	T5			
	Симметрично изогнутая поверхность разъема (I _c)							
	T1	T2	T3	T4	T5			
Несимметрично изогнутая поверхность разъема (I _n)								
	T1	T2	T3	T4	T5			
До 0,5 включ.	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3
Св. 0,5 до 1,0				0,2				
Св. 1,0 до 1,8		0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Св. 1,8 до 3,2								
Св. 3,2 до 5,6	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Св. 5,6 до 10,0				0,4	0,5	0,6	0,7	
Св. 10,0 до 20,0				0,5	0,6	0,7	0,9	
Св. 20,0 до 50,0	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9
Св. 50,0 до 125,0				0,5	0,6	0,7	0,9	1,2
Св. 125,0 до 250	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,2	1,6

Таблица 2.6 – Изогнутость, отклонения от плоскостности и прямолинейности

Наибольший размер поковки, мм	Припуск для классов точности, мм				
	T1	T2	T3	T4	T5
До 100 включ.	0,1	0,2	0,2	0,2	0,4
Св. 100 до 160	0,2	0,2	0,2	0,3	0,5
Св. 160 до 250	0,2	0,3	0,3	0,4	0,6

Окончание таблицы 2.6

Св. 250 до 400	0,3	0,4	0,4	0,5	0,8
Св. 400 до 630	0,4	0,5	0,5	0,6	1,0
Св. 630 до 1000	0,5	0,6	0,6	0,8	1,2
Св. 1000 до 1600	0,6	0,8	0,8	1,0	1,6
Св. 1600 до 2500	0,8	1,0	1,0	1,2	2,0

Таблица 2.7 – Отклонение межосевого расстояния

Расстояние между центрами, осями, мм	Припуски для классов точности, мм				
	T1	T2	T3	T4	T5
До 60 включ.	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3
Св. 60 до 100	0,1	0,2	0,2	0,3	0,5
Св. 100 до 160	0,2	0,2	0,3	0,5	0,8
Св. 160 до 250	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2
Св. 250 до 400	0,3	0,5	0,8	1,2	1,6
Св. 400 до 630	0,5	0,8	1,2	1,6	2,0
Св. 630 до 1000	0,8	1,2	1,6	2,0	2,5
Св. 1000 до 1600	1,2	1,6	2,0	2,5	4,0
Св. 1600 до 2500	1,6	2,0	2,5	4,0	6,0

Минимальная величина радиусов закруглений наружных углов поковок в зависимости от глубины полости ручья штампа устанавливается по таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Минимальная величина радиусов закруглений наружных углов поковок, мм

Масса поковки, кг	Минимальная величина радиусов закругления, мм, при глубине полости ручья штампа, мм			
	До 10 включ.	10–25	25–50	Св. 50
До 1,0 включ.	1,0	1,6	2,0	3,0
Св. 1,0 до 6,3	1,6	2,0	2,5	3,6
Св. 6,3 до 16,0	2,0	2,5	3,0	4,0
Св. 16,0 до 40,0	2,5	3,0	4,0	5,0
Св. 40,0 до 100,0	3,0	4,0	5,0	7,0
Св. 100,0 до 250,0	4,0	5,0	6,0	8,0

Допуски и отклонения линейных размеров поковок назначаются в зависимости от исходного индекса и размеров поковки по таблице 2.9. Допускаемые отклонения внутренних размеров поковок должны устанавливаться с обратным знаком.

Правила выполнения чертежей поковок

Чертёж поковки выполняется в соответствии с требованиями единой системы конструкторской документации по ГОСТ 3.1126–88. Чертёж поковки разрабатывается в масштабе чертежа детали.

Допускается на чертеже поковки наносить контур детали штрихпунктирной линией с двумя точками (рис. 2.6) и указывать размеры детали, заключенные в круглые скобки. Расположение плоскости разъёма формообразующих поверхностей штампа следует изображать штрихпунктирной линией, обозначенной на концах знаком X—X (рис. 2.6).

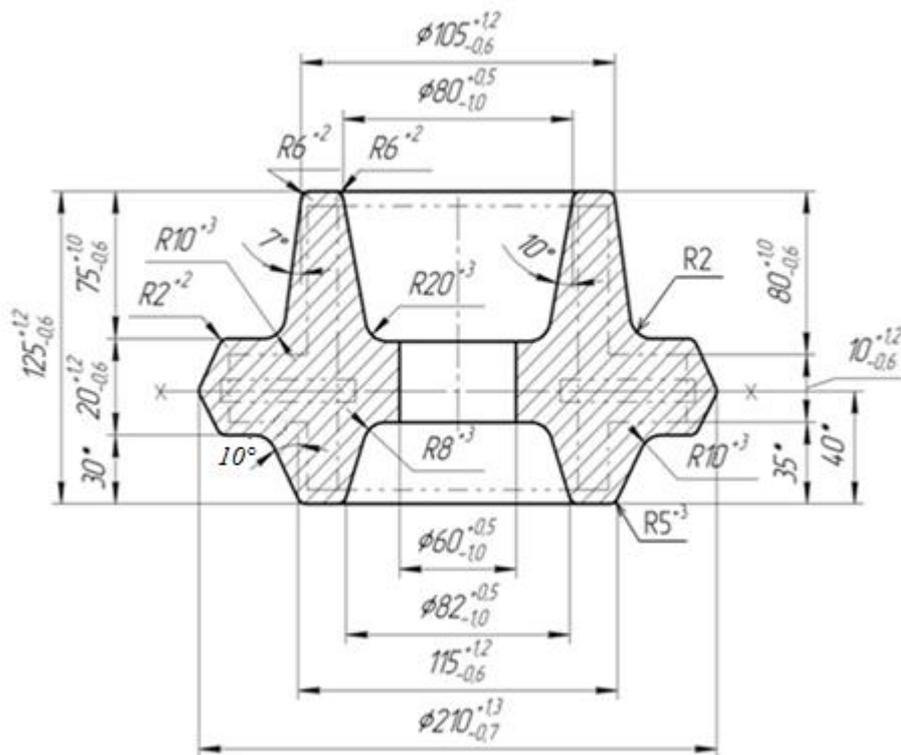


Рисунок 2.6 – Фрагмент рабочего чертежа поковки

2.4 Проектирование поковок, штампуемых на молотах. Задание 5

Цель задания – освоить методику и приобрести навыки проектирования поковок, штампуемых на молотах.

Содержание задания:

– изучить технологические и конструктивные особенности молотовых поковок;

– по варианту индивидуального задания оценить технологичность изделия, конфигурацию поверхности разъёма, назначить размеры и выполнить чертёж поковки в соответствии с ЕСКД.

Конструкторско-технологические особенности поковок, штампуемых на молотах.

Конфигурация поверхности разъёма штампа.

Таблица 2.9 – Допуски и допускаемые отклонения линейных размеров поковок, мм

Исходный индекс	Наибольшая толщина поковки																	
	до 40		40–63		63–100		100–160		160–250		св. 250							
	Длина, ширина, диаметр, глубина и высота поковки																	
	до 40		40–100		100–160		160–250		250–400		400–630		630–1000		1000–1600		1600–2500	
1	0,3	+0,2 –0,1	0,4	+0,3 –0,1	0,5	+0,3 –0,2	0,6	+0,4 –0,2	0,7	+0,5 –0,2	–	–	–	–	–	–	–	–
2	0,4	+0,3 –0,1	0,5	+0,3 –0,2	0,5	+0,4 –0,2	0,7	+0,5 –0,2	0,8	+0,5 –0,3	0,9	+0,6 –0,3	–	–	–	–	–	–
3	0,5	+0,3 –0,2	0,6	+0,4 –0,2	0,7	+0,5 –0,2	0,8	+0,5 –0,3	0,9	+0,6 –0,3	1,0	+0,7 –0,3	1,2	+0,8 –0,4	–	–	–	–
4	0,6	+0,4 –0,2	0,7	+0,5 –0,2	0,8	+0,5 –0,3	0,9	+0,6 –0,3	1,0	+0,7 –0,3	1,2	+0,8 –0,4	1,4	+0,9 –0,5	–	–	–	–
5	0,7	+0,5 –0,2	0,8	+0,5 –0,3	0,9	+0,6 –0,3	1,0	+0,7 –0,3	1,2	+0,8 –0,4	1,4	+0,9 –0,5	1,6	+1,1 –0,5	2,0	+1,3 –0,7	–	–
6	0,8	+0,5 –0,3	0,9	+0,6 –0,3	1,0	+0,7 –0,3	1,2	+0,8 –0,4	1,4	+0,9 –0,5	1,6	+1,1 –0,5	2,0	+1,3 –0,7	2,2	+1,4 –0,8	2,5	+1,6 –0,9
7	0,9	+0,6 –0,3	1,0	+0,7 –0,3	1,2	+0,8 –0,4	1,4	+0,9 –0,5	1,6	+1,1 –0,5	2,0	+1,3 –0,7	2,2	+1,4 –0,8	2,5	+1,6 –0,9	2,8	+1,8 –1,0
8	1,0	+0,7 –0,3	1,2	+0,8 –0,4	1,4	+0,9 –0,5	1,6	+1,1 –0,5	2,0	+1,3 –0,7	2,2	+1,4 –0,8	2,5	+1,6 –0,9	2,8	+1,8 –1,0	3,2	+2,1 –1,1
9	1,2	+0,8 –0,4	1,4	+0,9 –0,5	1,6	+1,1 –0,5	2,0	+1,3 –0,7	2,2	+1,4 –0,8	2,5	+1,6 –0,9	2,8	+1,8 –1,0	3,2	+2,1 –1,1	3,6	+2,4 –1,2
10	1,4	+0,9 –0,5	1,6	+1,1 –0,5	2,0	+1,3 –0,7	2,2	+1,4 –0,8	2,5	+1,6 –0,9	2,8	+1,8 –1,0	3,2	+2,1 –1,1	3,6	+2,4 –1,2	4,0	+2,7 –1,3
11	1,6	+1,1 –0,5	2,0	+1,3 –0,7	2,2	+1,4 –0,8	2,5	+1,6 –0,9	2,8	+1,8 –1,0	3,2	+2,1 –1,1	3,6	+2,4 –1,2	4,0	+2,7 –1,3	4,5	+3,0 –1,5
12	2,0	+1,3 –0,7	2,2	+1,4 –0,8	2,5	+1,6 –0,9	2,8	+1,8 –1,0	3,2	+2,1 –1,1	3,6	+2,4 –1,2	4,0	+2,7 –1,3	4,5	+3,0 –1,5	5,0	+3,3 –1,7

Окончание таблицы 2.9

13	2,2	+1,4 -0,8	2,5	+1,6 -0,9	2,8	+1,8 -1,0	3,2	+2,1 -1,1	3,6	+2,4 -1,2	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,9
14	2,5	+1,6 -0,9	2,8	+1,8 -1,0	3,2	+2,1 -1,1	3,6	+2,4 -1,2	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 -2,1
15	2,8	+1,8 -1,0	3,2	+2,1 -1,1	3,6	+2,4 -1,2	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 -2,1	7,1	+4,7 -2,4
16	3,2	+2,1 -1,1	3,6	+2,4 -1,2	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 -2,1	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7
17	3,6	+2,4 -1,2	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 -2,1	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7	9,0	+6,0 -3,0
18	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 -2,1	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7	9,0	+6,0 -3,0	10,0	+6,7 -3,3
19	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 -2,1	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7	9,0	+6,0 -3,0	10,0	+6,7 -3,3	11,0	+7,4 -3,6
20	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,0	6,3	+4,2 -2,1	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7	9,0	+6,0 -3,0	10,0	+6,7 -3,3	11,0	+7,4 -3,6	12,0	+8,0 -4,0
21	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 -2,1	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7	9,0	+6,0 -3,0	10,0	+6,7 -3,3	11,0	+7,4 -3,6	12,0	+8,0 -4,0	13,0	+8,6 -4,4
22	6,3	+4,2 -2,1	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7	9,0	+6,0 -3,0	10,0	+6,7 -3,3	11,0	+7,4 -3,6	12,0	+8,0 -4,0	13,0	+8,6 -4,4	14,0	+9,2 -4,8
23	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7	9,0	+6,0 -3,0	10,0	+6,7 -3,3	11,0	+7,4 -3,6	12,0	+8,0 -4,0	13,0	+8,6 -4,4	14,0	+9,2 -4,8	16,0	+10,0 -6,0

В соответствии с ГОСТ 7505 для штампованных заготовок принята следующая конфигурация поверхности разъёма штампа: П – плоская; И_с – симметрично изогнутая; И_н – несимметрично изогнутая.

Выбор штамповочных уклонов.

Штамповочные уклоны различают в зависимости от воздействия металла поковки на стенки ручья штампа при его остывании. Под ручьём штампа понимают углубление на поверхности штампа для придания деформируемой заготовке требуемой формы. Если металл отходит от стенки при остывании поковки, то уклон называют внешним α . Если металл прижимается к стенке ручья, то его называют внутренним β (рис. 2.7).

Двойные штамповочные уклоны также могут быть как внешними, так и внутренними, они применимы главным образом на поковках, представляющих собой тела вращения. В некоторых случаях они могут быть применены и на поковках более сложной формы, например, на отдельных участках коленчатых валов автомобильных двигателей, представляющих собой балансиры.

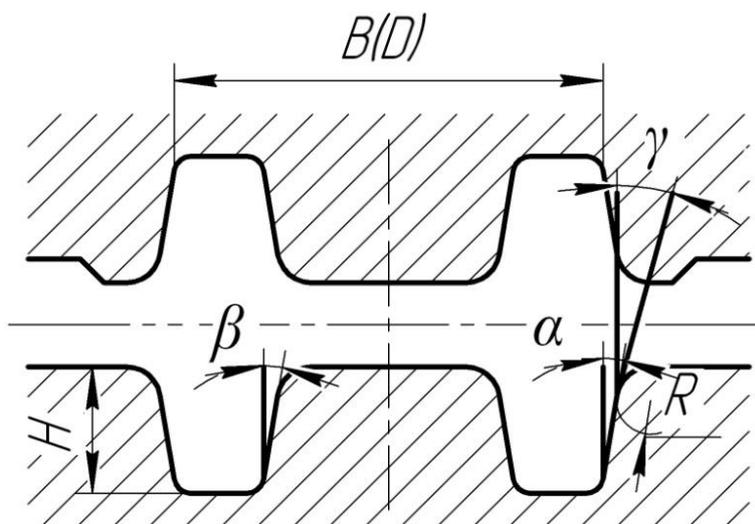


Рисунок 2.7 – Полость штампа с двойным штамповочным уклоном

Значения штамповочных уклонов в зависимости от соотношения габаритных размеров поковок приведены в таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Числовые значения штамповочных уклонов

Отношение H/B или H/D	Штамповочные уклоны, град.			
	обычные одинарные		двойные	
	наружные α	внутренние β	основные α	входные γ
Св. 0,5 до 1,0	5	7	3	7
Св. 1,0 до 2,5	7	10	3	7
Св. 2,5 до 4,0	7	10	3	7
Св. 4,0 до 5,5	7	12	5	10
Св. 5,5	10	15	5	12

При использовании таблицы 2.10 нужно учитывать следующие обстоятельства:

- если в отдельных местах поковки получаются различные штамповочные уклоны, то их надо унифицировать, приняв большее значение;

- если заполнение ручья штампа осуществляется за счёт осадки заготовки, то штамповочные уклоны можно уменьшить до ближайшего меньшего значения.

Радиусы переходов и закруглений (рис. 2.8) назначаются в зависимости от отношения h/b – высоты элемента поковки h к ширине поковки b у искомого радиуса (табл. 2.11).

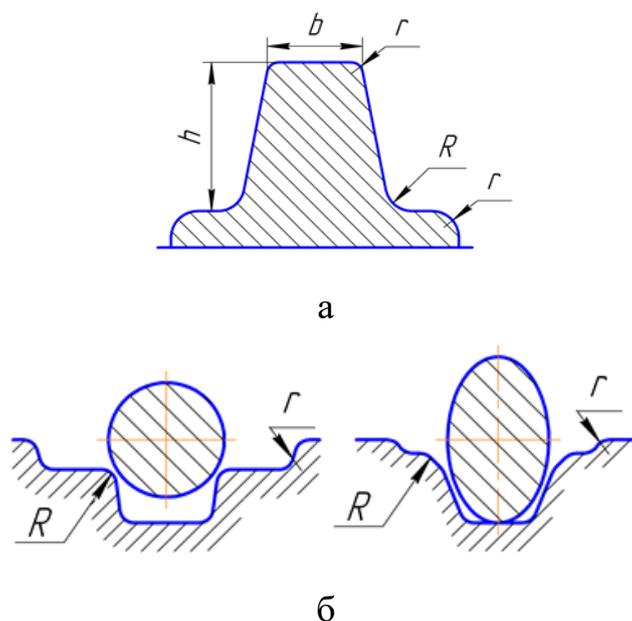


Рисунок 2.8 – Штамповка выдавливанием (а), осадкой (б)

Таблица 2.11 – Числовые значения радиусов закруглений

h/b	r при h				R при h			
	до 25	24–45	46–80	81–100	до 25	24–45	46–80	81–100
До 2	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	8,0	12,0	15,0
Св.2 до 4	2,0	3,0	4,0	4,5	6,0	10,0	15,0	20,0
Св. 4	2,5	3,5	4,5	5,0	8,0	15,0	20,0	25,0

Особенности выбора радиусов закругления

- радиусы закруглений r , меньшие величины припуска, округляют до величины припуска;

- при значении радиуса r , большем величины припуска, последний увеличивают до величины радиуса;

- если на чертеже готовой детали величины r и R больше получаемых по таблице 2.11, то их следует принимать по чертежу детали;

– следует принимать значения r и R по таблице 2.11, если они больше соответствующих размеров на чертеже готовой детали;

– при штамповке высоколегированных сталей (30ХГСА, 24Х2МФА, 40ХНМА, 25ХНВА и др.) значения r и R принимают на 20–30 % больше табличных.

Полости и наметки отверстий

При штамповке поковок с глухими отверстиями необходимо стремиться получить углубления максимального объёма, что приводит к экономии металла и уменьшению механической обработки.

Неглубокая полость может быть образована тем легче, чем больше диаметр этой полости. Вследствие малой стойкости штамповочных знаков полости диаметром менее 30 мм не выполняются. При большой высоте поковок ограничиваются получением лишь глубоких отверстий (наметок) без последующей просечки отверстий. Верхняя наметка полости выполняется из условия получения глубины, равной двум диаметрам. Высота нижней наметки полости меньше верхней, так как стойкость нижнего знака меньше верхнего (из-за большего его разогрева). Чтобы обеспечить устойчивость заготовки при закладывании её в ручей, нижний знак должен быть невысоким. При штамповке поковок с наметкой отверстий приходится считаться с тем, что слишком толстые плёнки (перемычки) тяжело срезать, а чрезмерно тонкие плёнки нецелесообразны по затрате энергии, а также из-за снижения стойкости штамповочных знаков. Если плёнка получается большого диаметра и небольшой толщины, то для её образования требуется затратить много энергии. В этом случае на первой стадии штамповки в черновом ручье целесообразно получать плёнку между знаками с большими радиусами закруглений.

При штамповке в чистовом ручье применяются такие знаки, которые образуют в середине плёнки магазин (карман). Металл с утолщенных мест плёнки вытесняется в него, а сама плёнка легко удаляется.

В зависимости от формы и размеров применяют пять типов наметок: с плоской плёнкой, с раскосом, с магазином, с карманом, глухую (рис. 2.9 а–г).

При конструировании плоской наметки (рис. 2.9 а) большое значение имеет правильный выбор толщины плёнки S . При штамповке в зоне плёнки происходит осадка с боковым подпором. Давление на выступах, образующих плёнку, зависит от отношения диаметра плёнки к её толщине. При малой толщине плёнки давление велико и выступы штампа, образующие наметку, могут быть подвергнуты деформации. Возможность деформации усугубляется еще и тем, что при малой толщине плёнка быстро остывает, а это ещё больше увеличивает давление на выступы. Причем выступы, окруженные раскалённым

металлом, быстро нагреваются, а их твёрдость и прочность снижается. При деформации выступов возможно заклинивание поковки в штампе.

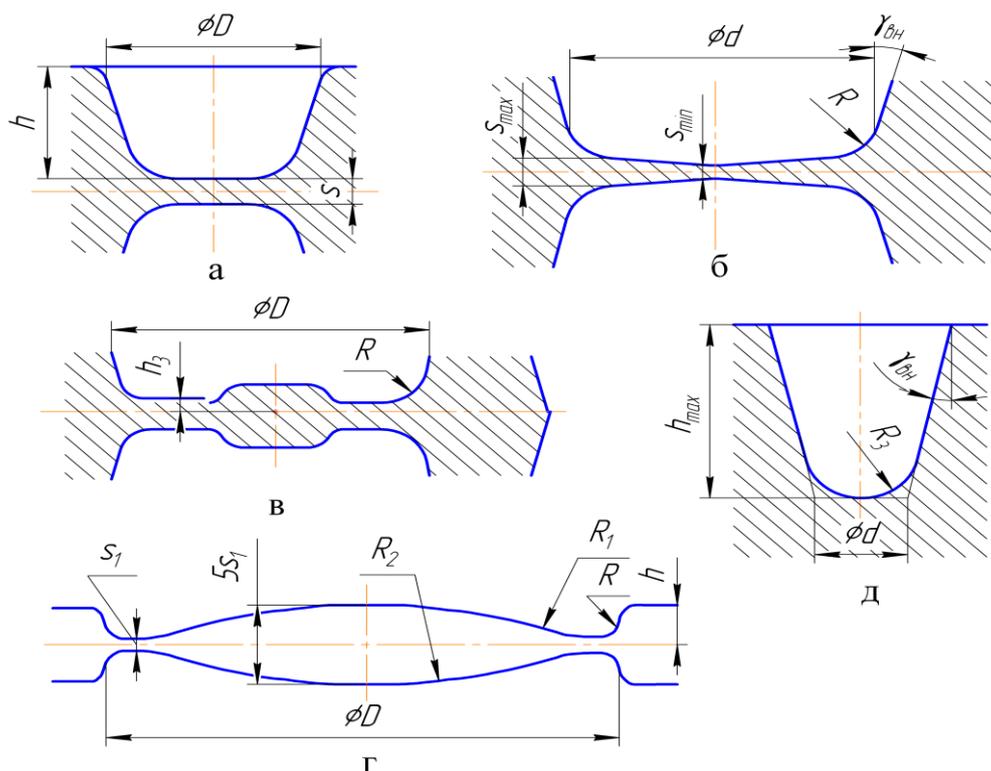


Рисунок 2.9 – Наметки молотовых поковок:

а – плоская; б – с раскосом; в – с магазином; г – с карманом;
д – глухая

Вместе с тем, при большой толщине плёнки требуются повышенные усилия для её последующей прошивки, которые могут значительно деформировать поковку и затруднить прошивку. Поэтому необходимо, чтобы толщина стенки S для определённых условий была оптимальной. Практикой установлено, что отношение $S/D = 0,1$ или $S > 0,1 \cdot D$, но менее 4 мм.

Плоскую наметку выполняют при $D < 80$ мм. При использовании предварительного ручья плоскую наметку применяют при $D < 55$ мм. Для $D > 80$ мм при отсутствии предварительного ручья и для наметок в предварительном ручье любых диаметров применяют наметку с раскосом, облегчающим течение металла (рис. 2.9 б). Предварительно рассчитывают S как для плоской наметки, а $S_{\text{max}} = 1,35 \cdot S$ и $S_{\text{min}} = 0,65 \cdot S$.

Наметку с магазином (рис. 2.9 в) применяют при $D > 55$ мм при наличии предварительного ручья, в котором выполняют наметку с раскосом. В наметке с магазином уменьшается толщина плёнки до h_3 , что облегчает её срез. При штамповке в месте образования плёнки не возникает повышенных давлений, так как металл вытесняется в полость магазина.

Наметку с карманом (рис. 2.9 г) применяют при $D > 150$ мм и для низких поковок со сравнительно малым отношением $h/D < 0,07$. Толщина плёнки в месте среза при прошивке $S_I = 0,4 \cdot \sqrt{D}$. Наметку с карманом применяют в основном при штамповке в окончательном ручье предварительно осажённых плоских заготовок.

Глухую наметку (рис. 2.9 д) выполняют для экономии металла, когда её глубина h_{max} и радиусы R_3 относительно большие, в результате чего прошивка нецелесообразна, а отверстие в дальнейшем получают сверлением.

Типовые поковки, штампуемые на молотах

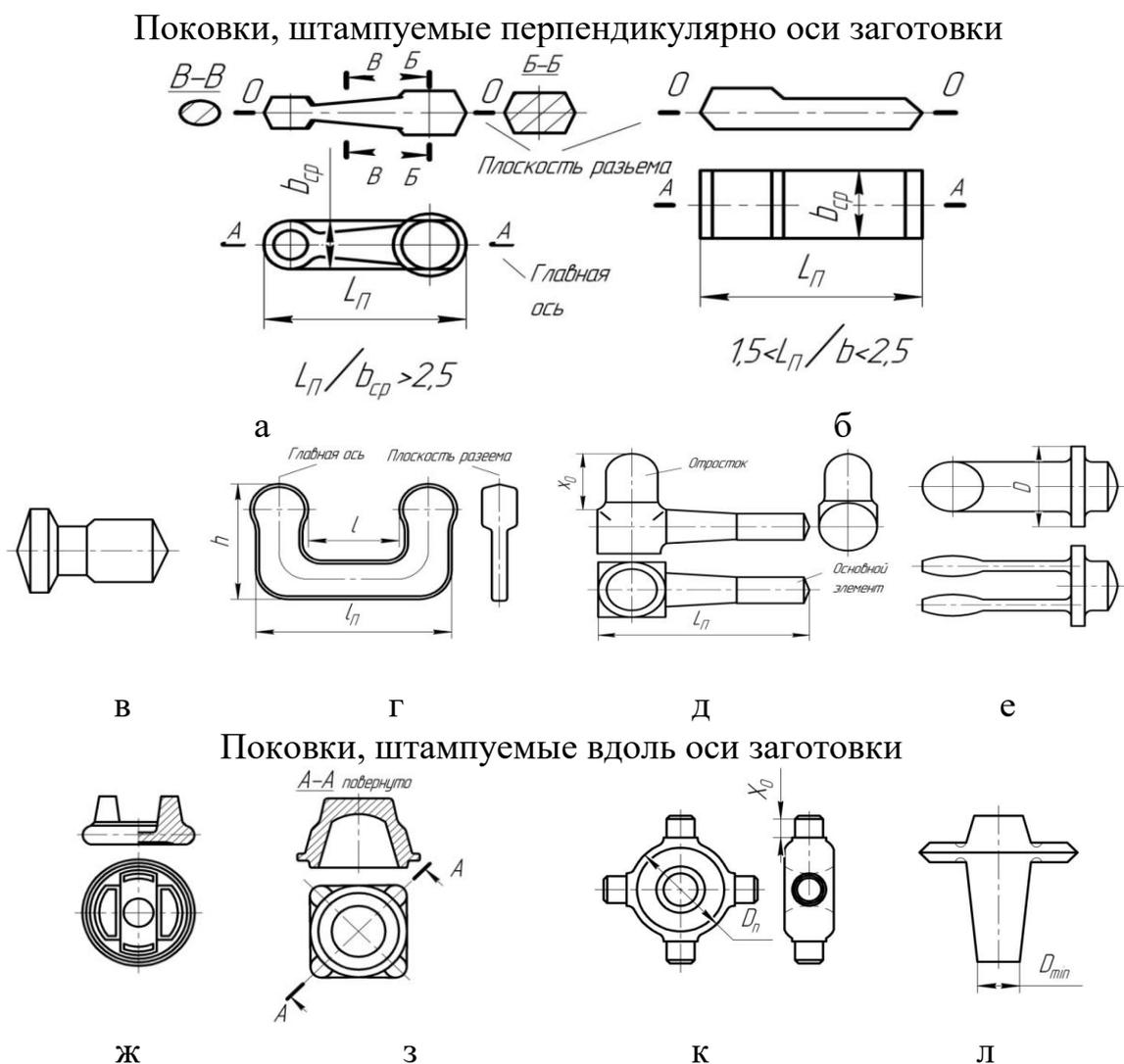


Рисунок 2.10 – Типовые поковки, изготавливаемые штамповкой на молотах: а, б – с плоской поверхностью разреза и прямой осью, в – удлиненные в плане с прямой осью, имеющие фланец; г – с изогнутой осью; д – с вытянутой осью; е – с развилиной; ж, з – круглые или квадратные, штампуемые выдавливанием; к – с отростками; л – стержневые с фланцем

Пример расчёта и выполнения чертежа молотовой поковки (ГОСТ 7505-89)

Необходимо рассчитать поковку детали «Рычаг» (рис. 2.11).

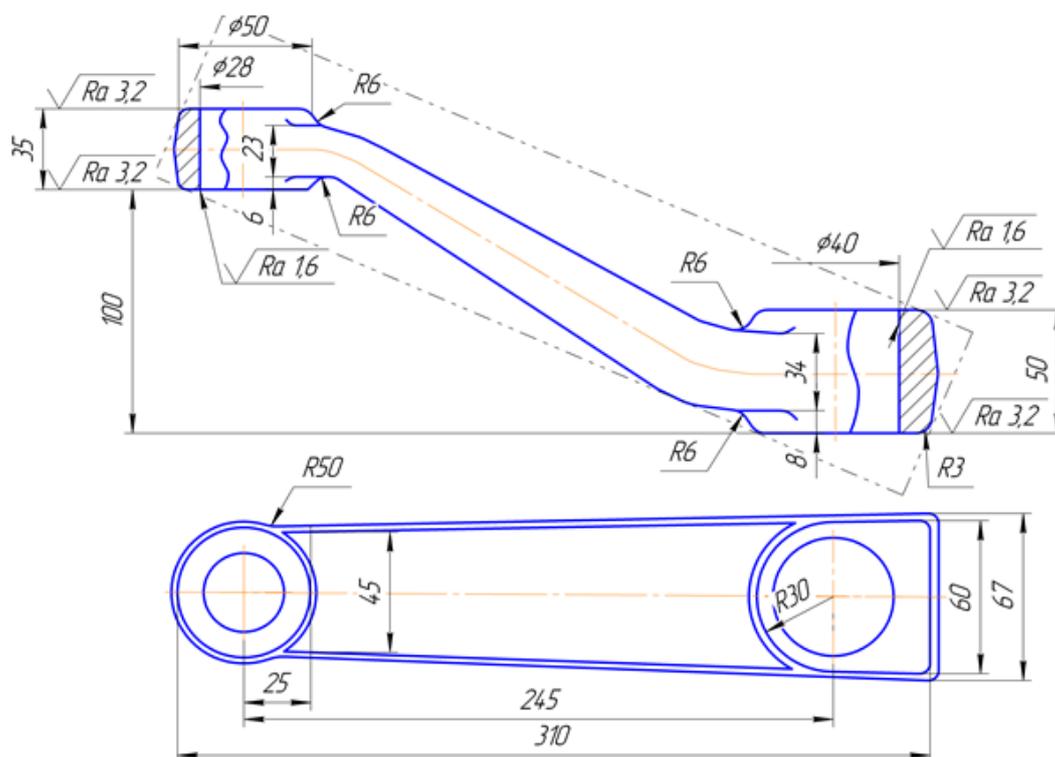


Рисунок 2.11 – Фрагмент рабочего чертежа детали «Рычаг»

Штамповочное оборудование – паровоздушный штамповочный молот.

Нагрев заготовок – пламенный газовый.

Исходные данные детали

Материал – сталь 12Х2Н4А (ГОСТ 4543). Химический состав: 0,09–0,15 % С; 0,17–0,3 % Si; 0,30–0,60 % Mn; 1,25–1,65 % Cr; 3,25–3,65 % Ni.

Масса детали – 3,30 кг.

Исходные данные для расчёта

Масса поковки (расчётная) – 4,25 кг; расчётный коэффициент $K_p = 1,3$ (табл. 2.2), тогда

$$3,3 \cdot 1,3 = 4,25 \text{ кг.}$$

Класс точности – Т5 (табл. 2.1).

Средняя массовая доля углерода в стали 12Х2Н4А – 0,12 % С; суммарная массовая доля легирующих элементов – 5,62 % (0,27 % Si; 0,45 % Mn; 1,45 % Cr; 3,45 % Ni), поэтому выбрана группа стали – М3.

Степень сложности – С2 (см. с. 77).

Размеры описывающей поковку фигуры (параллелепипеда), мм:
– длина 340 (определяется графически);

– высота 67 (определяется графически);

– ширина 67 (определяется по чертежу).

Масса описывающей фигуры (расчетная):

$$1,03^3 \cdot 34 \cdot 6,7 \cdot 6,7 \cdot 7,85 = 12420 \text{ г} = 12,42 \text{ кг};$$

$$G_{\text{п}} : G_{\text{ф}} = 4,25 : 13,06 = 0,325.$$

Конфигурация поверхности разъема штампа – I_n (изогнутая несимметричная) (табл. 2.5).

Исходный индекс – 16 (табл. 2.3).

Припуски и кузнечные напуски

Основные припуски на размеры (табл. 2.4), мм:

– 2,7 – толщина 50 мм и шероховатость поверхности Ra 3,2;

– 2,5 – толщина 35 мм и шероховатость поверхности Ra 3,2;

– 2,5 – диаметр 40 мм и шероховатость поверхности Ra 1,6;

– 2,3 – диаметр 28 мм и шероховатость поверхности Ra 1,6.

Дополнительные припуски, учитывающие:

– смещение поковки по поверхности разъема штампа (табл. 2.5), мм:

1) 0,6 – диаметр 40;

2) 0,6 – диаметр 28;

– отклонение от прямолинейности (табл. 2.6), мм:

1) 0,8 – толщина 50;

2) 0,8 – толщина 35;

– отклонение межцентрового расстояния на размер 245 мм – 1,2 мм.

Штамповочный уклон:

– на наружной поверхности – не более 7°, принимается 7°;

– на внутренней поверхности – не более 10°, принимается 10°.

Размеры поковки и их допускаемые отклонения

Размеры поковки, мм:

– толщина $50 + (2,7 + 0,8) \times 2 = 57$; принимается 57;

– толщина $35 + (2,5 + 0,8) \times 2 = 41,5$, принимается 41,5;

– диаметр 40 – $(2,5 + 0,6 + 1,2) \times 2 = 31,4$, принимается 31;

– диаметр 28 – $(2,3 + 0,6 + 1,2) \times 2 = 19,4$ принимается 19,5;

– высота $100 + (2,7 - 2,5) = 100,2$, принимается 100.

Радиусы закруглений наружных углов для глубины ручья 10–25 мм – 2,0 мм.

Допускаемые отклонения размеров (табл. 2.9), мм:

толщина $57^{+2,4}_{-1,2}$; толщина $41,5^{+2,4}_{-1,2}$; ширина $60^{+2,4}_{-1,2}$; ширина $50^{+2,4}_{-1,2}$;

высота $100^{+2,7}_{-1,3}$; длина $310^{+3,7}_{-1,9}$; диаметр $31,5^{+1,1}_{-2,1}$; диаметр $19,5^{+1,1}_{-2,1}$.

Допускаемая величина смещения по поверхности разъема штампа – 1,2 мм.

Допускаемое отклонение от плоскостности и прямолинейности – 1,6 мм.

Допускаемая величина остаточного облоя или срезанной кромки – 1,6 мм.

Допускаемое отклонение межцентрового расстояния – $\pm 1,2$ мм.
 Фрагмент рабочего чертежа поковки рычага представлен на рисунке 2.12.

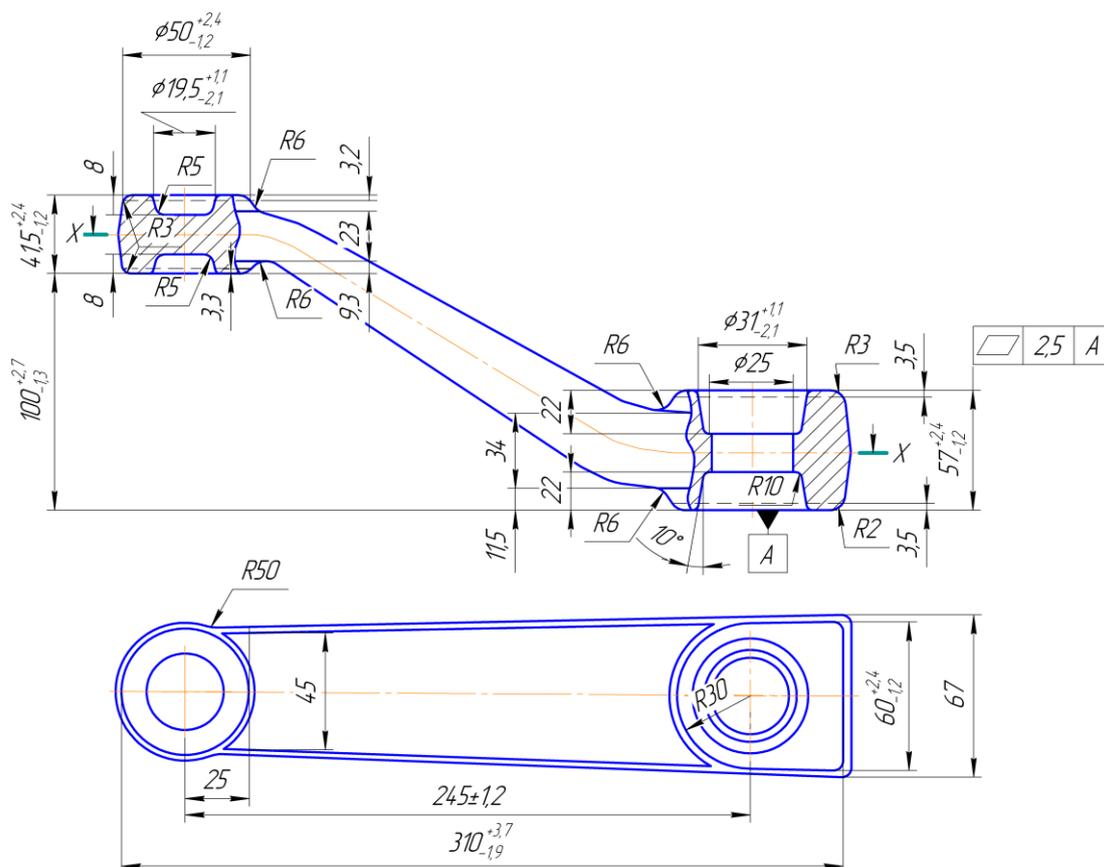


Рисунок 2.12 – Поковка рычага

2.5 Проектирование поковок, штампуемых на высокоскоростных молотах. Задание 6

Цель задания – освоить методику и приобрести навыки проектирования поковок, штампуемых на высокоскоростных молотах.

Содержание задания:

- изучить конструктивно-технологические особенности поковок, штампуемых на высокоскоростных молотах;
- по варианту индивидуального задания оценить технологичность изделия, назначить размеры и выполнить чертёж поковки в соответствии с ЕСКД.

Конструктивно-технологические особенности поковок

Технологические особенности высокоскоростных молотов следующие: наличие нижнего выталкивателя; минимальная скорость

удара 12 м/с; минимальный рабочий ход при максимальной энергии удара 160 кДж 3–5 мм; отклонение величины энергии последовательных ударов составляет не более 2–5 % от номинального значения; рабочие циклы составляют 5–15 с. Поковки, как правило, штампуют за один удар. Металл соприкасается с пуансоном и матрицей весьма малое время. Передача тепла от заготовки к штампу незначительна. Кроме того, потери тепла компенсируются теплом, выделяемым при деформации.

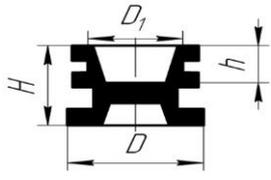
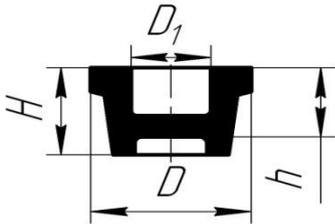
Получаемые при высокоскоростной штамповке поковки имеют мелкозернистую равноосную структуру, что обеспечивает их более высокие механические свойства (на 10–15 % выше), чем у поковок, изготовленных на паровоздушных молотах. Одноударная штамповка на высокоскоростных молотах позволяет деформировать металл с высокими степенями, превышающими 30 %. Время рекристаллизации незначительно, поэтому обеспечивается фиксация структуры поковки.

Высокоскоростные молоты широко используются при штамповке труднодеформируемых металлов и сплавов, в основном, для изготовления осесимметричных поковок. Основным критерием целесообразности получения поковок на высокоскоростных молотах является во многих случаях невозможность получения их на обычном оборудовании из-за наличия у поковки тонких рёбер, стенок, полотен, малых радиусов закруглений и штамповочных уклонов.

В ряде случаев высокоскоростная штамповка является единственным способом, обеспечивающим получение специальных поковок из труднодеформируемых материалов.

Размеры и формы поковок, рекомендуемых для штамповки на высокоскоростных молотах, приведены в таблицах 2.12–2.15.

Таблица 2.12 – Поковки, изготавливаемые на высокоскоростных молотах в открытых штампах

Наименование поковки	Эскиз	Размеры поковок, мм, и их соотношение
Корпус		$D = 60 \dots 240$ $H = 82 \dots 187$ $D_1 = 70 \dots 220$ $D/H = 0,8 \dots 2,1$ $h = 40 \dots 100$
		$D = 100 \dots 160$ $H = 105 \dots 195$ $D_1 = 80 \dots 140$ $D/H = 0,8 \dots 1,6$ $h = 50 \dots 120$

Окончание таблицы 2.12

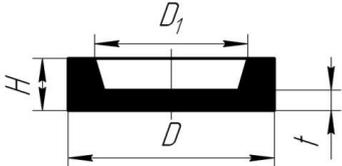
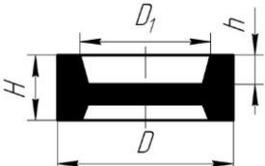
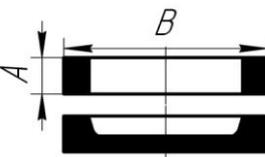
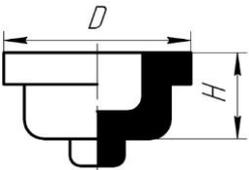
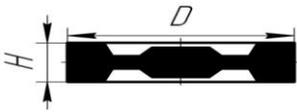
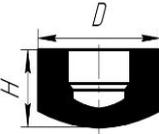
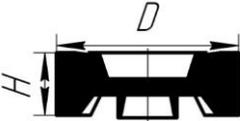
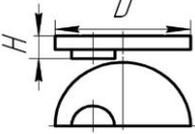
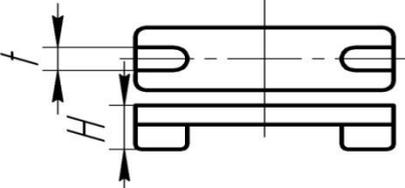
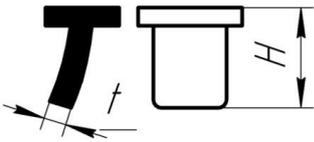
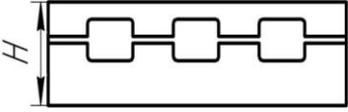
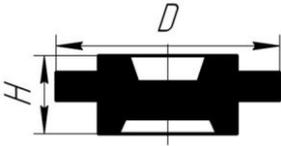
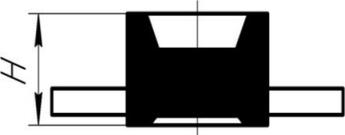
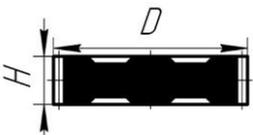
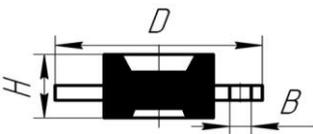
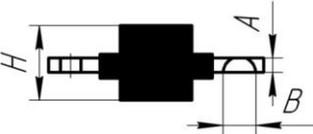
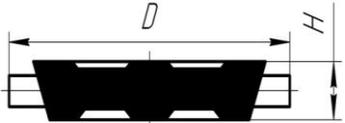
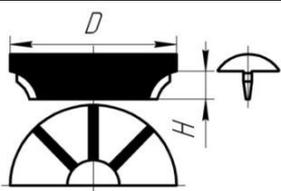
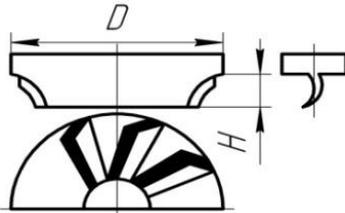
Трубная доска		$D = 70...250$ $H = 20...100$ $D_1 = 55...235$ $D/H = 2,5...10$ $t = 6...50$
		$D = 70...254$ $H = 50...100$ $D_1 = 55...240$ $D/H = 1,4...2,5$ $h = 20...40$
Крышка полусферы		$A = 50...100$ $B = 150...300$ $B/A = 2...3$
		$D = 120...360$ $H = 65...180$ $D/H = 1,9...2,4$

Таблица 2.13 – Поковки, изготавливаемые на высокоскоростных молотах в закрытых штампах

Наименование поковки	Эскиз	Размеры поковок, мм
Диски		$D = 65...310$ $H = 20...500$
Поршни		$D = 70...190$ $H = 98...140$
Накидные гайки		$D = 70...138$ $H = 50...90$
Крышки плоские с фланцем		$D = 112...240$ $H_{min} \geq 4$
Фитинги		$H_{min} \geq 3$ $t = 1,1...2,4$

Продолжение таблицы 2.13

<p>Лопатки закруткой</p>		<p>$H = 350$ $t = 1,1...2,4$</p>
<p>Составные панели</p>		<p>—</p>
<p>Фланец сложной формы</p>		<p>$D = 130...350$ $H = 80...150$</p>
<p>Групповая для лопаток</p>		<p>$H = 4...8$</p>
<p>Шестерни с зубом</p>		<p>$D = 60...210$ $H = 12...79$</p>
<p>Поковки с четырьмя и более боковыми отростками</p>		<p>$D \leq 300$ $H = 4...12$ $A \times B = 2 \times 4$</p>
		<p>$H = 6...10$ $A \times B = 1,5 \times 6$</p>
<p>Осевые турбинные колеса с лопатками</p>		<p>$D = 180...260$ $H = 31...59$</p>
<p>Осевые компрессорные колёса</p>		<p>$D = 260...320$ $H = 24...38$</p>
<p>Центробежные компрессорные колёса</p>		<p>$D = 68...156$ $H = 11...17$</p>
		<p>$D = 70...135$ $H = 5...19$</p>

Окончание таблицы 2.13

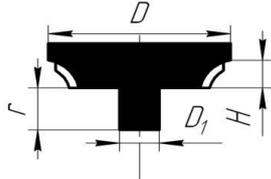
Колесо с валом		$D = 70 \dots 128$ $H = 7 \dots 13$ $r = 1,2 \dots 16$ $D_1 = 8 \dots 50$
----------------	---	--

Таблица 2.14 – Конструктивные параметры рёбер поковок, штампуемых на высокоскоростных молотах

Минимальная толщина	Максимальное отношение высоты ребра и его толщины	Площадь поковки в плане, мм ²	Материал
Алюминиевые сплавы			
1,1	7,3	3846,0	АК4-1
1,2	47,5	20601,0	АК6
1,4	27,5	16733,0	Д20
1,5	9,7	6024,0	В95
1,5	30,6	22156,0	АК6
1,6	60,5	5720,0	АК4-1
1,9	10,5	38010,0	АК6
2,0	9,5	6949,0	В95
2,7	10,4	12467,0	АК6
Медные сплавы			
5,2	20,6	7825,0	БрАЖ9-4
6,1	19,3	6740,0	БрКН1-3
Титановые сплавы			
1,2	9,7	5049,0	ВТ6
4,0	12,0	18137,0	ВТ6
6,0	7,1	11304,0	ВТ22
Стали			
5,75	5,1	3801,0	12Х18Н9Т
6,25	5,6	6240,0	36НХТЮ
11,6	5,75	7800,0	12Х18Н9Т

Таблица 2.15 – Минимальные радиусы закруглений и галтелей

Материалы	Радиус, мм	
	Галтели	Закругления
Алюминиевые сплавы	1,5...2,0	0,3...0,5
Медные сплавы	1,2...3,0	0,8...1,2
Титановые сплавы	2,0...3,0	1,3...2,0
Стали	2,5...4,0	1,5...2,5

2.6 Проектирование поковок, штампуемых на кривошипных горячештамповочных прессах (КГШП). Задание 7

Цель – освоить методику и приобрести навыки проектирования поковок, штампуемых на КГШП, а также:

- изучить конструктивно-технологические особенности поковок, штампуемых на КГШП;
- по варианту индивидуального задания оценить технологичность изделия, назначить размеры и выполнить чертёж поковки в соответствии с ЕСКД.

Конструкторско-технологические особенности штамповки на КГШП

Штамповка на КГШП в отличие от штамповки на молотах имеет следующие преимущества:

- повышенная точность размеров по высоте поковки вследствие постоянства хода и определенности нижнего положения ползуна пресса;
- увеличенный коэффициент использования металла благодаря более совершенной конструкции штампов, снабженных верхним и нижним выталкивателями, что позволяет уменьшить штамповочные уклоны, припуски и допуски;
- улучшение условий труда вследствие меньших шумовых эффектов, вибрации и сотрясения почвы;
- более высокий КПД пресса (в 2–4 раза) по сравнению с молотом.

Кинематика КГШП обеспечивает жёсткую связь между приводом и ползуном. При подходе шатуна к крайнему нижнему положению усилие на ползуне резко возрастает. Рост усилий ведет к увеличению деформации деталей пресса. При значительной перегрузке, например, резком охлаждении облоя, ползун КГШП, не доходя до нижнего положения, останавливается, и пресс может заклинить. Поэтому при штамповке на КГШП предусматривают облой, толщина которого больше, чем толщина облоя при многоударной штамповке на молоте.

Наличие более толстого, а, следовательно, и более горячего облоя приводит к уменьшению подпора в полости штампа, большему выдавливанию металла из полости и к худшему заполнению гравюры ручьёв. В результате при одинаковой суммарной деформации штамповка на КГШП выполняется с использованием большего числа ручьёв, чем при штамповке на молотах.

Более сильное течение металла в стороны при штамповке на КГШП по сравнению со штамповкой на молотах связано с меньшими скоростями деформирования на КГШП. Удар молота длится 0,005–0,01 с, а продолжительность единичного обжатия в каждом ручье пресса составляет 0,03–0,08 с.

Предотвращение образования большого облоя в прессовом штампе и снижение скорости истечения металла в стороны осуществляется путем увеличения числа ручьев для постепенного приближения формы заготовки к форме поковки. Поковки, штампуемые на молоте за один переход, рекомендуется штамповать на прессе за два или несколько переходов.

Назначение уклонов

Если штамповку осуществляют одновременно осадкой и выдавливанием, то штамповочные уклоны на разных участках следует назначать отдельно с учетом характера течения металла.

Таблица 2.16 – Штамповочные уклоны на поковках, изготавливаемых на прессах

Штамповочные уклоны	Поковки тел вращения			Поковки сложной (удлиненной) формы	
	Осадка	Выдавливание	Осадка и выдавливание	Осадка	Осадка и выдавливание
Внешние α , град.	1–2	3–5	3–5	3–5	5–7
Внутренние β , град.	2–3	5–7	5–7	5–7	5–7

Если полости ручья очень глубокие и узкие, рекомендуется применять двойные штамповочные уклоны (рис. 2.13), которые предохраняют кромки ручья от подсаживания (табл. 2.17).

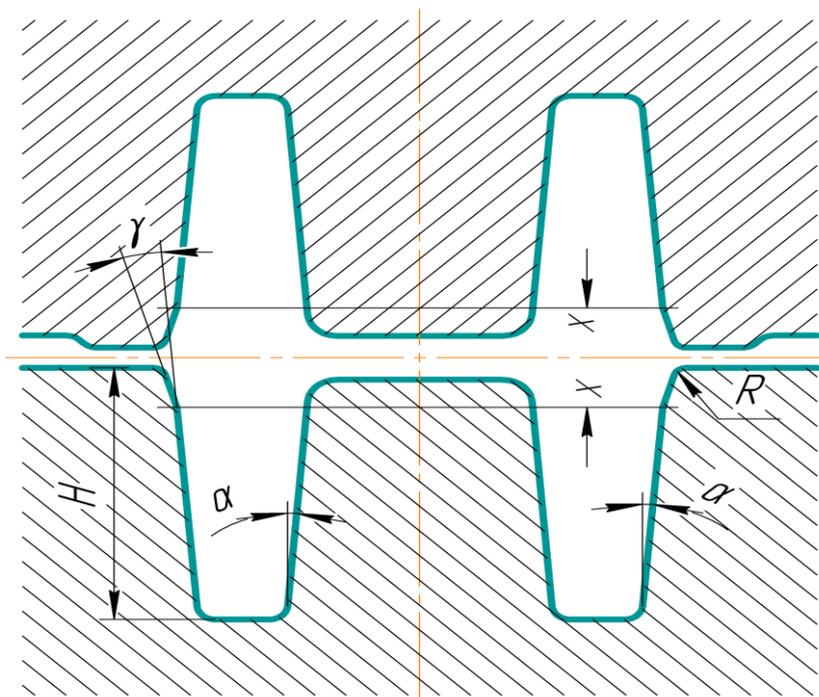


Рисунок 2.13 – Полость штампа с двойным штамповочным ручьем

Таблица 2.17 – Двойные штамповочные уклоны поковок с высокими ребрами и ступицами (рис. 2.12)

Глубина H ручья, мм	Расстояние x , мм	Штамповочные уклоны, град.	
		Основные α	Входные γ
До 20	5	2	6
Св. 21 до 50	10	3	7
Св. 51 до 60	12	3	10
Св. 65	15	5	10

Для облегчения течения металла в полости ручья на поковках необходимы радиусы переходов R_B и R_H (рис. 2.14), которые рекомендуется определять по эмпирической формуле

$$R = k \cdot h, \quad (2.1)$$

где h – высота элемента поковки в месте образования перехода; k – коэффициент, учитывающий отношение ширина и глубины участков поковки (табл. 2.18).

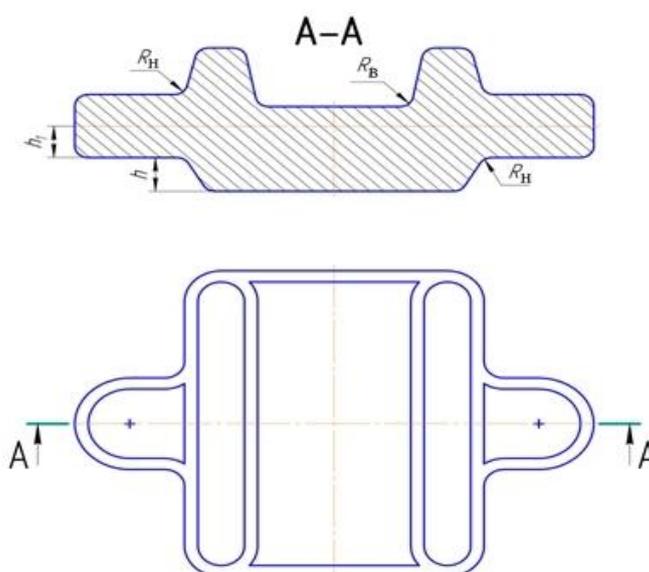


Рисунок 2.14 – Поковка вытянутой формы

Таблица 2.18 – Значение коэффициента k

$\frac{h}{b}$	h , мм	k
До 1	До 12	0,15
Св. 1 до 2	Св. 12 до 24	0,2
Св. 2 до 3	Св. 24 до 40	0,25
Св. 3	Св. 40	0,3

Обозначения: b и h – ширина и высота участков поковки, мм

Типовые поковки, штампуемые на КГШП, представлены на рисунке 2.15.

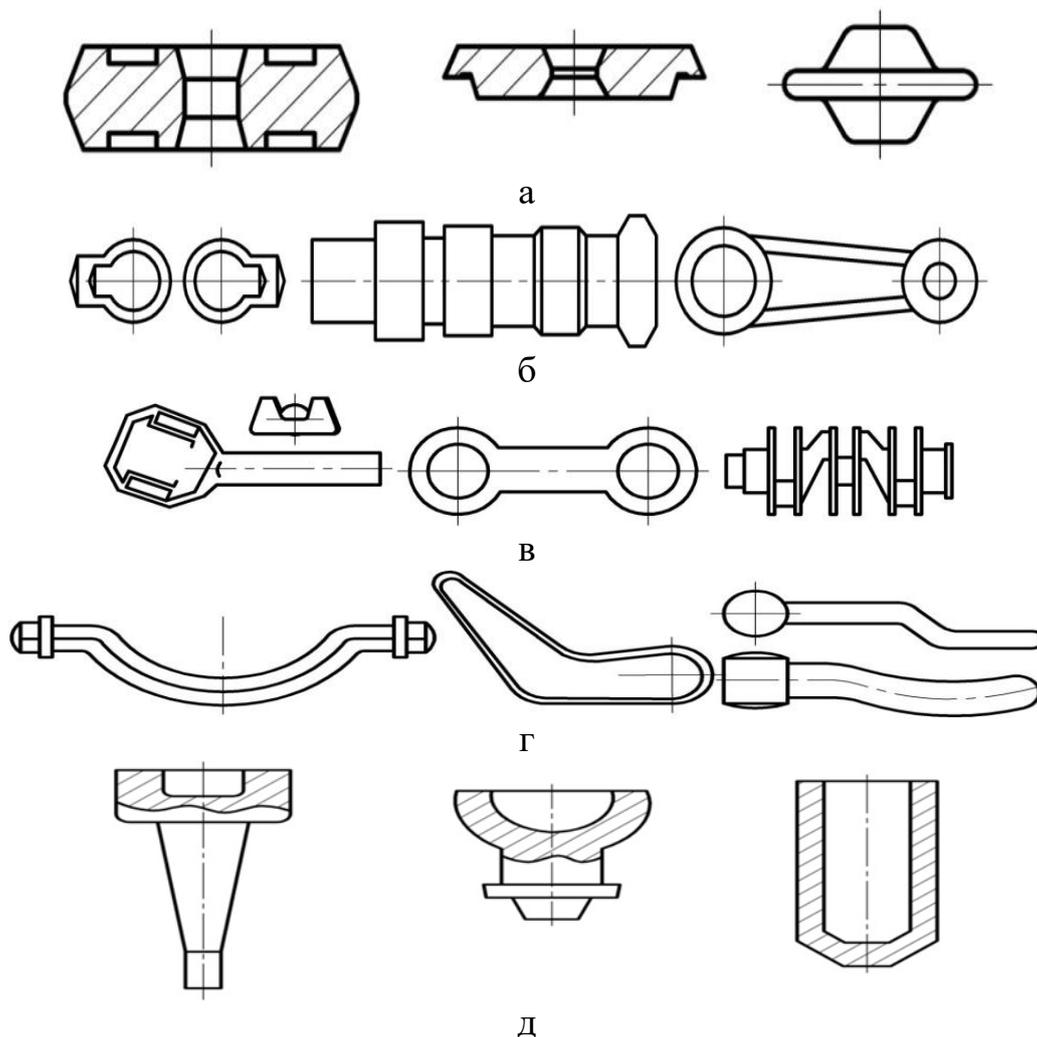


Рисунок 2.15 – Типовые поковки, штампуемые на КГШП:
 а – осесимметричные, круглые или квадратные в плане, изготовленные осадкой с одновременным выдавливанием;
 б – поковки удлиненной формы с небольшой разницей площадей поперечных сечений; в – поковки удлиненной формы со значительной разницей в площадях поперечных сечений;
 г – поковки с изогнутой осью; д – поковки с удлиненной осью, получаемые осадкой и выдавливанием

Пример расчёта поковки шестерни (ГОСТ 7505–89)

Фрагмент чертежа шестерни представлен на рисунке 2.16.

Исходные данные детали:

Материал – сталь 45ХН2МФА: 0,42–0,50 % С; 0,17–0,37 % Si; 0,5–0,8 % Mn; 0,8–1,1 % Cr; 1,3–1,8 % Ni; 0,2–0,3% Мо; 0,10–0,18 % V.

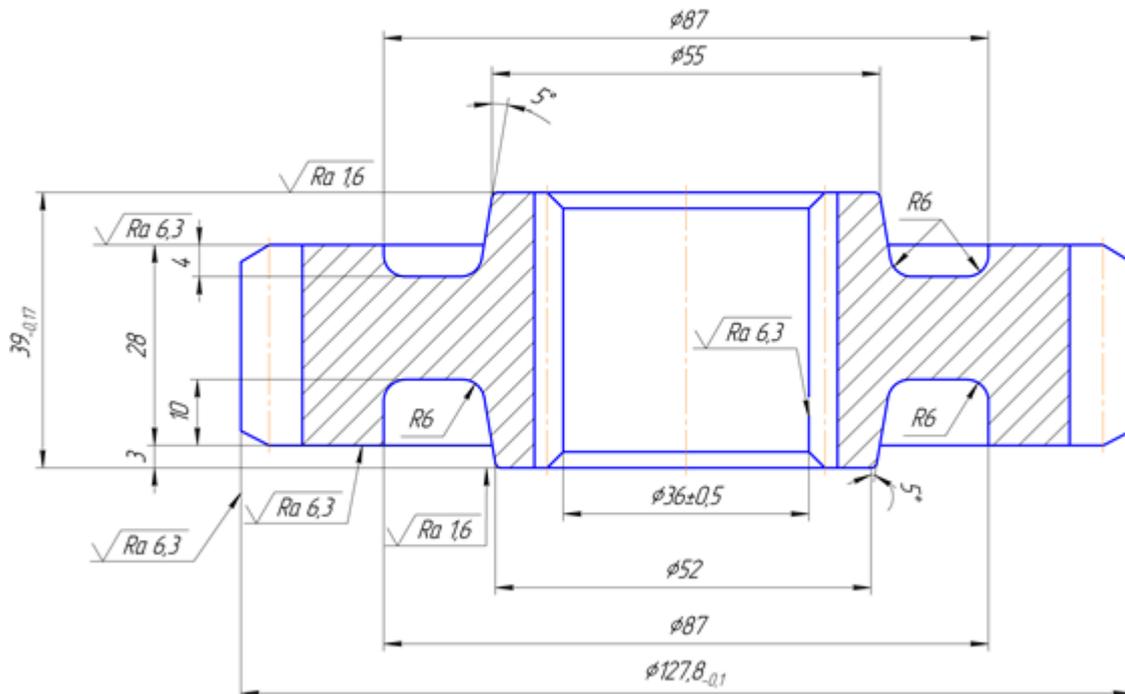


Рисунок 2.16 – Шестерня (фрагмент чертежа)

Масса детали – 1,83 кг; масса поковки – 3,3 кг (расчётная):
расчётный коэффициент $K_p = 1,8$ (табл. 2.2) – $1,8 \cdot 1,83 = 3,3$.

Класс точности – Т4.

Средняя массовая доля углерода в стали 45ХН2МФА – 0,46 % С;
суммарная массовая доля легирующих элементов – 3,81 % (0,27 % Si;
0,05 % Mn; 0,95 % Cr; 1,55 % Ni; 0,25 % Mo; 0,14 % V). Группа стали – М2.

Фигура, в которую вписывается форма поковки – цилиндр,
размеры которого в мм находят, умножая размеры детали на
коэффициент 1,05: диаметр 134,2 ($127,8 \cdot 1,05$); высота 41 ($39 \cdot 1,05$).

Масса описывающей фигуры (расчётная) – 4,55 кг;

Степень сложности – С1 (см. подраздел 3.1).

Конфигурация поверхности разъема штампа П (плоская).

Исходный индекс – 10 (табл. 2.3).

Припуски и кузнечные напуски:

Основные припуски на размеры (табл. 2.4), мм:

- 1,6 – диаметр 127,8 мм и шероховатость поверхности Ra 6,3 мкм;
- 1,4 – диаметр 36 мм и шероховатость поверхности 6,3 мкм;
- 1,5 – толщина 39 мм и шероховатость поверхности 1,6 мкм;
- 1,5 – толщина 28 мм и шероховатость поверхности 6,3 мкм;

Дополнительные припуски, учитывающие:

- смещение поверхности разъема штампа – 0,3 мм (табл. 2.5);
- отклонение от плоскостности – 0,3 мм (табл. 2.6).

Штамповочные уклоны:

- на наружной поверхности – не более 5°, принимается 5°;
- на внутренней поверхности – не более 7°, принимается 7°.

Размеры поковки, мм:

- диаметр $127,8 + (1,6 + 0,3) \cdot 2 = 131,6$ принимается 132;
- диаметр $36 - (1,4 + 0,3) \cdot 2 = 32,6$ принимается 32;
- толщина $39 + (1,5 + 0,3) \cdot 2 = 42,6$ принимаем 42,5;
- толщина $28 + (1,5 + 0,3) \cdot 2 = 31,6$ принимаем 31,5.

Радиусы закругления наружных углов – 2,0 мм (минимальный), принимается 3,0 мм (табл. 2.8).

Допускаемые отклонения размеров (табл. 2.9), мм:

диаметр $132^{+1,3}_{-0,7}$; диаметр $32^{+0,5}_{-0,9}$; толщина $42,5^{+1,1}_{-0,5}$; толщина $31,5^{+1,1}_{-0,5}$.

Размеры поковки, их допускаемые отклонения, шероховатость поверхностей после штамповки, технические характеристики, рассчитанные и назначенные выше (степень сложности, точность изготовления, группа стали, исходный индекс) приводят в технических требованиях. Фрагмент чертежа поковки показан на рисунке 2.17. Оформление чертежа должно соответствовать ГОСТ 3.1126.

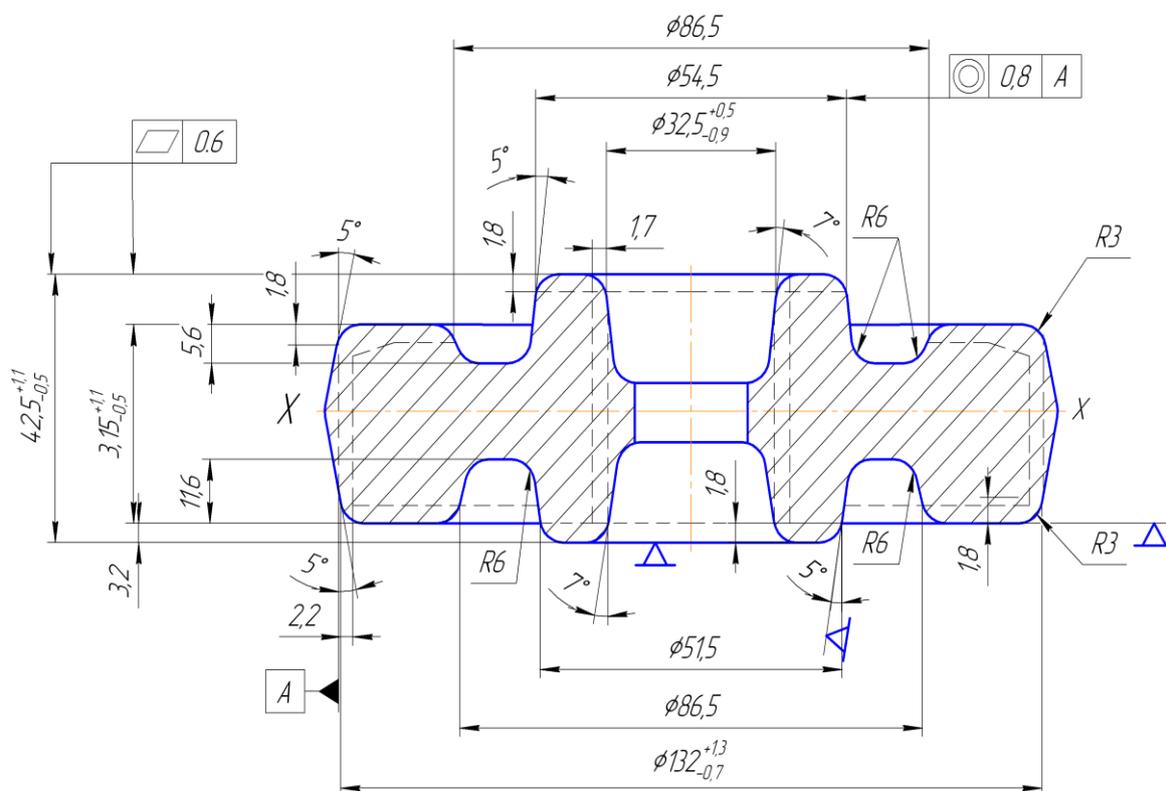


Рисунок 2.17 – Поковка шестерни (фрагмент чертежа)

2.7 Проектирование поковок, штампуемых на горизонтально-ковочных машинах (ГКМ). Задание 8

Цель – освоить методику и приобрести навыки проектирования поковок, штампуемых на ГКМ, а также:

– изучить конструктивно-технологические особенности поковок, штампуемых на ГКМ.

– по варианту индивидуального задания оценить технологичность изделия, назначить размеры и выполнить чертёж поковки в соответствии с ЕСКД.

Технологические и конструктивные особенности поковок

Горизонтально-ковочные машины представляют разновидность кривошипных прессов, у которых предусмотрено два ползуна: главный и зажимной. Перемещение обоих ползунов осуществляется в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

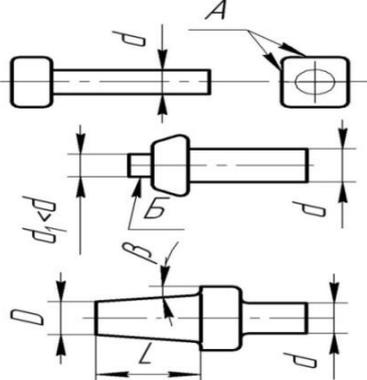
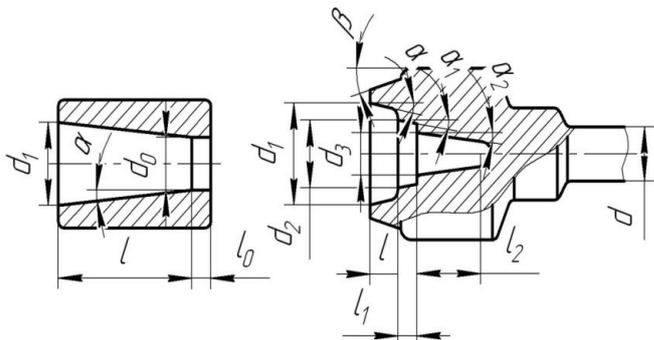
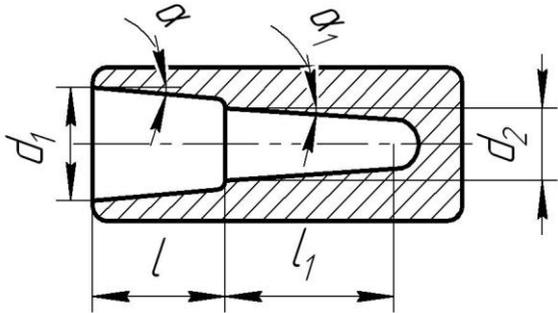
Наличие двух взаимно перпендикулярных плоскостей разъёма штампов позволяет применять закрытую штамповку и получать такие поковки, которые невозможно получать при штамповке с одной плоскостью разъёма, например, поковки со сквозным отверстием, с глубокой глухой полостью, со стержнем, с утолщением и др.

Горизонтально-ковочные машины обеспечивают высокую производительность штамповки заготовок, возможность штамповки поковок без облоя, что исключает необходимость применения обрезного прессы, отсутствие штамповочных уклонов на наружной поверхности поковки, что позволяет повысить коэффициент весовой точности ($K_{вт}$) и коэффициент использования металла (КИМ) при штамповке.

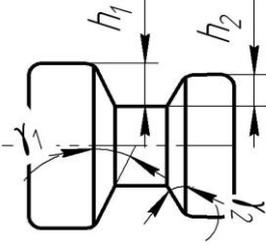
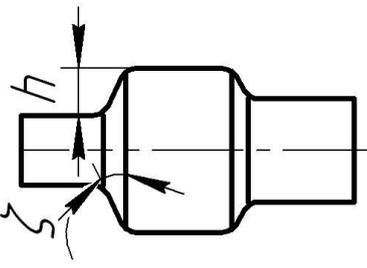
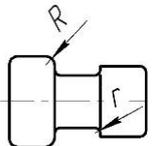
Припуски и допуски определяют в соответствии с ГОСТ 7505–89 с учетом тех же факторов, что и при штамповке на молотах и прессах.

Штамповочные уклоны поверхностей поковок, параллельных и перпендикулярных перемещению главного ползуна, определяют по таблице 2.19.

Таблица 2.19 – Штамповочные уклоны поковок, изготавливаемых на ГКМ

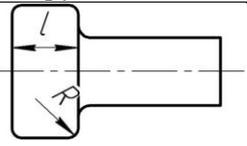
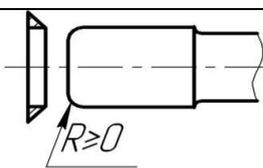
Поверхности поковки	Штамповочные уклоны, эскизы поковок, пояснения к выбору уклонов					
I Поверхности поковок, параллельные передвижению ползуна						
Наружные, в том числе, оформляемые в матрицах выдавливанием в пуансоне	 <p data-bbox="1038 376 1361 562">Поверхности A и B выполняют без штамповочных уклонов. Угол β зависит от отношения L/D</p>					
	L/D	До 0,3	Св. 0,3 до 1,2	Св. 1,2 до 2,2	Св. 2,2 до 3,2	Св. 3,2 до 4,2
	β	0	15'	30'	45'	1°
Внутренние в сквозных и глухих полостях, выполняемых пуансоном	<p data-bbox="544 927 1361 1039">Максимальное значение штамповочного уклона $\alpha_{max} \leq 3^\circ$; минимальное значение α (α_1, α_2) зависит от отношения l/d_1 ($l_1/d_2, l_2/d_3$)</p> 					
l/d_1 ($l_1/d_2, l_2/d_3$)	До 0,5	Св. 0,5 до 1,5	Св. 1,5 до 2,5	Св. 2,5 до 3,5	Св. 3,5 до 4,5	
α (α_1, α_2)	0	15'	30'	45'	1°	
Внутренние в сквозных и глухих полостях, выполняемых пуансоном	l/d_1 ($l_1/d_2, l_2/d_3$)	Св. 4,5 до 5,5		Св. 5,5 до 6,5	Св. 6,5 до 7,5	Св. 7,5 до 8,5
α (α_1, α_2)	1°15'		1°30'	1°45'	2°	
	 <p data-bbox="1166 1682 1361 1984">Глубокие полости для уменьшения угла α разделяют по высоте на несколько участков</p>					

Окончание таблицы 2.19

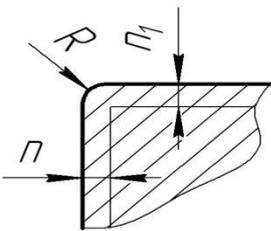
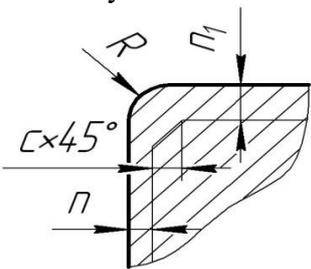
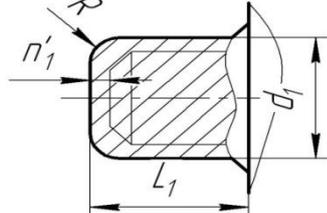
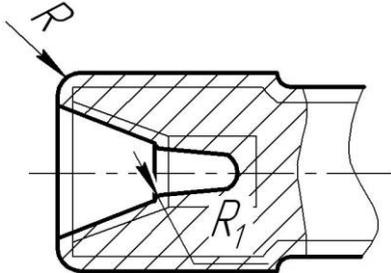
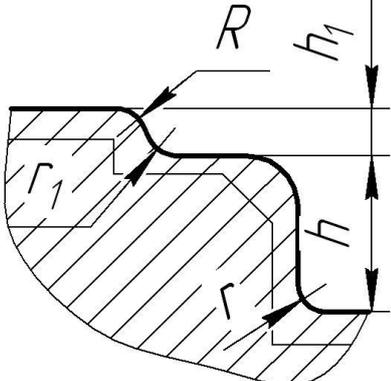
II Поверхности поковок, перпендикулярные перемещению ползуна. Штамповочные уклоны поверхностей ступенчатых поковок, оформляемых в матрицах						
С внутренними уклонами					Максимальное значение внутреннего уклона $\gamma_{max} \leq 7^\circ$. Угол γ (γ_1, γ_2) зависит от h .	
	h , мм	До 10	Св. 10 до 16	Св. 16 до 25	Св. 25 до 40	Св. 40
	γ , град.	1	2	3	5	7
С внешними уклонами					Максимальное значение внешнего угла $\zeta_{max} \leq 5^\circ$. Угол ζ можно выбрать в зависимости от h , основываясь на данных для внутреннего угла γ и с учетом того, что при равных значениях h следует принимать $\zeta < \gamma$	
С большими радиусами переходов					Штамповочные уклоны не требуются, если поверхность образована сопряжением двух радиусов R и r	

Радиусы закруглений внешних и внутренних углов на наружном и внутреннем контурам поковки определяют по таблице 2.20.

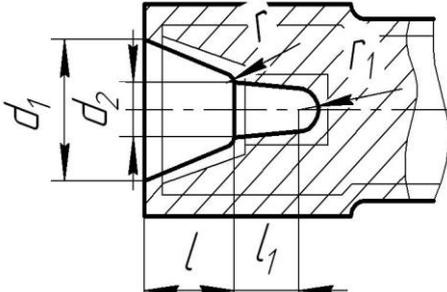
Таблица 2.20 – Радиусы закругления поковок, штампуемых на ГКМ

Условия назначения радиуса закругления	Радиус закругления, эскиз элемента поковки, пояснение к выбору радиуса	
Радиусы R закругления внешних углов поковок		
Наименьшее значение радиуса		Принимают по ГОСТ 7505–89 в зависимости от глубины полости l и массы поковки
		При наличии заусенца на переднем торце поковки $R \geq 0$

Продолжение таблицы 2.20

<p>По наружному контуру поковки есть припуск на обработку резанием</p>	<p>При наличии на детали острой кромки</p>  <p>$R = (n + n_1)/2$, где n и n_1 – размеры, мм</p>	<p>При наличии на детали фаски по углом 45°</p>  <p>$R = (n + n_1)/2 + c$, где c – размер фаски, мм</p>
<p>Для элементов поковки, получаемых выдавливанием</p>		<p>Если угол фаски не равен 45°, отрезок $a = R$ находят графически из условия, что минимальное расстояние от фаски до дуги, образуемой радиусом, больше или равно $(n + n_1)/2$</p> <p>$R = 0,1L_1 + \leq d_1/2$ При $R > (n + n_1)/2$ припуск по торцу увеличивают до n'_1, чтобы получить нормальный припуск по углу</p>
<p>На внутреннем контуре поковки</p>		<p>Определяют так же, как и радиус R на внешнем контуре поковки</p>
<p>Радиусы r закругления внутренних углов поволок</p>		
<p>На наружном контуре поковки</p>		<p>Принимают в зависимости от бурта h $R = 0,2h + 1$. Если $r + R > h$, то r определяют из условия плавного сопряжения</p>

Окончание таблицы 2.20

<p>На внутреннем контуре поковки</p>		<p>Принимают в зависимости от d_1; d_2; l и l_1; $r = 0,07(d_1 + l)$; или $r_1 = 0,07(d_2 + l_1)$, но $r \geq 1,5\text{мм}$</p>
--------------------------------------	---	--

Примечание.

1. Рассчитанные по указанным рекомендациям радиусы R и r следует округлять до ближайшего большего значения из следующего ряда: 0,8; 1,0; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 6; 8; 10; 12; 15; 20; 25 мм.
2. Введение фасок на внешних и внутренних кромках детали расширяет возможность применения больших радиусов закругления и допусков на них, что повышает технологичность конструкции поковки

На рисунке 2.18 представлены типовые поковки, изготавливаемые штамповкой на горизонтально-ковочных машинах.

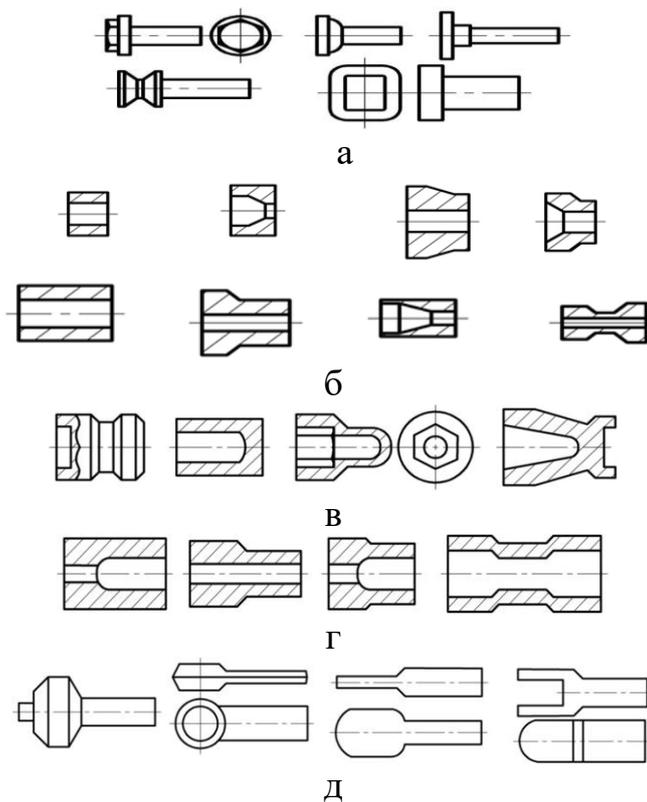


Рисунок 2.18 – Типовые поковки, изготавливаемые на ГКМ:
 а – поковки типа стержней с одним или несколькими утолщениями;
 б – кольца и втулки, прошиваемые с одной или двух сторон;
 в – поковки с глухими отверстиями; г – поковки, штампуемые из труб; д – поковки смешанной формы

Пример расчёта припусков, размеров, допусков и отклонений на поковках, штампуемых на ГKM (ГОСТ 7505-89)

Деталь – вал-шестерня (рис. 2.19).

Штамповочное оборудование – горизонтально-ковочная машина.

Количество переходов – 4.

Исходные данные детали:

материал – сталь 15XГН2ТА (по ГОСТ 4543): 0,13–0,18 % С; 0,7–1,0 % Мn; 0,17–0,37 % Si; 0,7–1,0 % Cr; 1,4–1,8 % Ni; 0,03–0,09 % Ti.

Масса детали – 6,6 кг.

Масса деформируемой и зажимаемой частей – 5,2 кг.

Исходные данные для расчёта:

масса поковки (расчётная) – 7,8 кг;

расчётный коэффициент $K_p = 1,5$ (табл. 2.2).

$$5,2 \cdot 1,5 = 7,8 \text{ кг.}$$

Класс точности – Т5 (табл. 2.1).

Группа стали – М2:

Средняя массовая доля углерода в стали 15XГН2ТА: 0,15 % С; суммарная массовая доля легирующих элементов – 3,73 % (0,9 % Мn; 0,27 % Si; 0,9 % Cr; 1,6 % Ni; 0,06 % Ti).

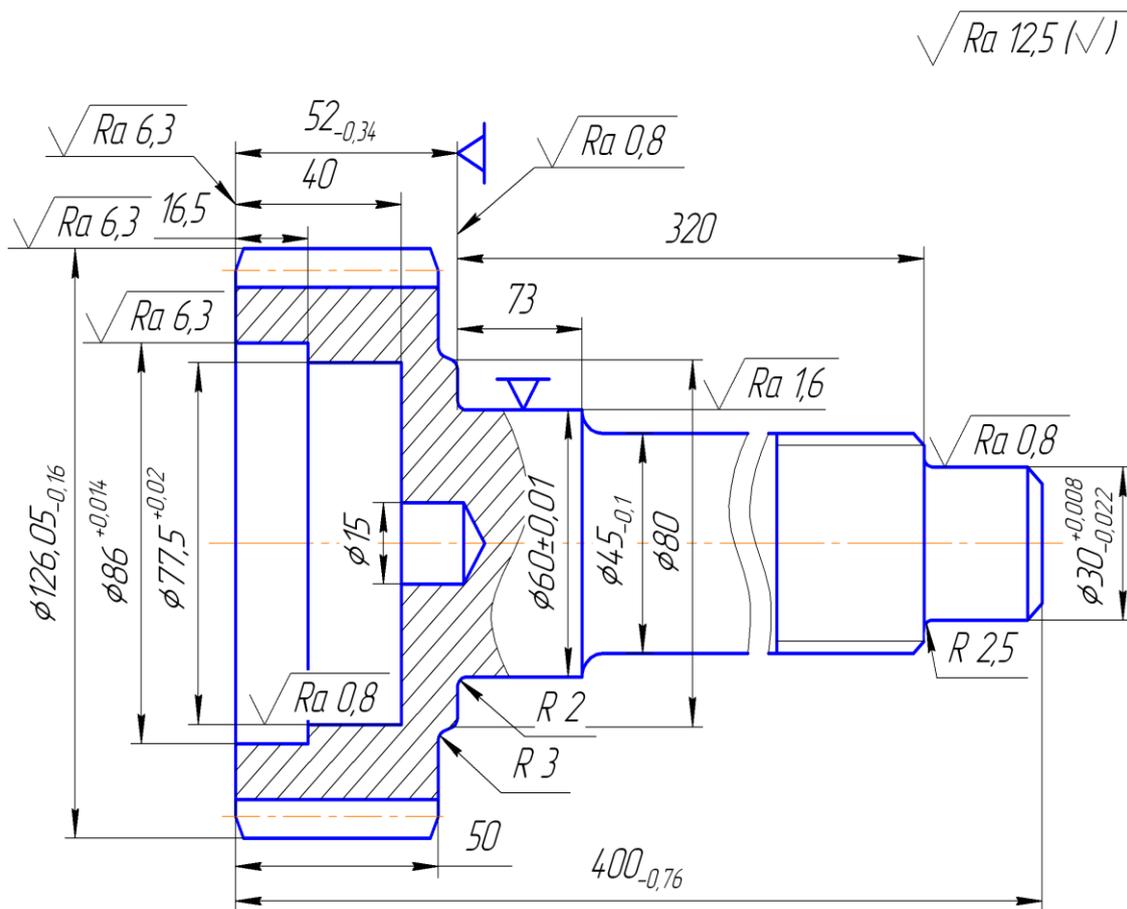


Рисунок 2.19 – Фрагмент чертежа детали «Вал-шестерня»

Степень сложности – С3 (см. подраздел 3.1).

Конфигурация поверхности разъема штампа – П (плоская).

Исходный индекс – 17 (табл. 2.3).

Припуски и кузнечные напуски:

Основные припуски на размеры, мм:

- 3,0 – диаметр 126 мм и шероховатость поверхности Ra 6,3 мкм;
- 2,7 – диаметр 86 мм и шероховатость поверхности 6,3 мкм;
- 2,7 – диаметр 60 мм и шероховатость поверхности 1,6 мкм;
- 2,2 – диаметр 45 мм и шероховатость поверхности 12,5 мкм;
- 3,0 – толщина 52 мм и шероховатость поверхности 6,3 мкм;
- 3,3 – толщина 52 мм и шероховатость поверхности 0,8 мкм;
- 3,0 – толщина 50 мм и шероховатость поверхности 6,3 мкм;
- 2,4 – толщина 50 мм и шероховатость поверхности 12,5 мкм;
- 3,0 – глубина 40 мм и шероховатость поверхности 6,3 мкм;
- 2,0 – глубина 40 мм и шероховатость поверхности 12,5 мкм;

Дополнительные припуски, учитывающие:

– смещение по поверхностям разъема штампа 0,4 мм (табл. 2.5);

– изогнутость, отклонения от плоскостности и от прямолинейности, мм:

– стержня – 0,8 (табл. 2.6);

– фланца – 0,5 (табл. 2.6).

Размеры поковки и их допускаемые отклонения (рис. 2.19), мм:

– диаметр $126 + (3,0 + 0,4 + 0,5) \cdot 2 = 133,8$, принимается 134;

– диаметр $86 + (2,7 + 0,4 + 0,5) \cdot 2 = 78,8$, принимается 78,5;

– диаметр $60 + (2,7 + 0,5 + 0,4) \cdot 2 = 67,2$, принимается 67;

– диаметр $45 + (2,2 + 0,8) \cdot 2 = 51$, принимается 52 (по ГОСТ 2590);

– глубина $40 + (3,0 + 2,0 + 0,5) = 41,5$, принимается 41,5;

– толщина $52 + (3,0 + 3,3 + 0,5 + 0,4) = 59,1$, принимается 59;

– толщина $50 + (3,0 + 2,4 + 0,5 + 0,4) = 56,2$, принимается 56.

Радиус закругления наружных углов – 4,0 мм (табл. 2.8).

Штамповочный уклон – 7° .

Допускаемые отклонения размеров (табл. 2.9):

– диаметр $134_{-1,5}^{+3,0}$;

– диаметр $78,5_{-2,7}^{+1,3}$;

– диаметр $67_{-1,3}^{+2,7}$;

– диаметр $52_{-1,0}^{+0,4}$ (по ГОСТ 2590);

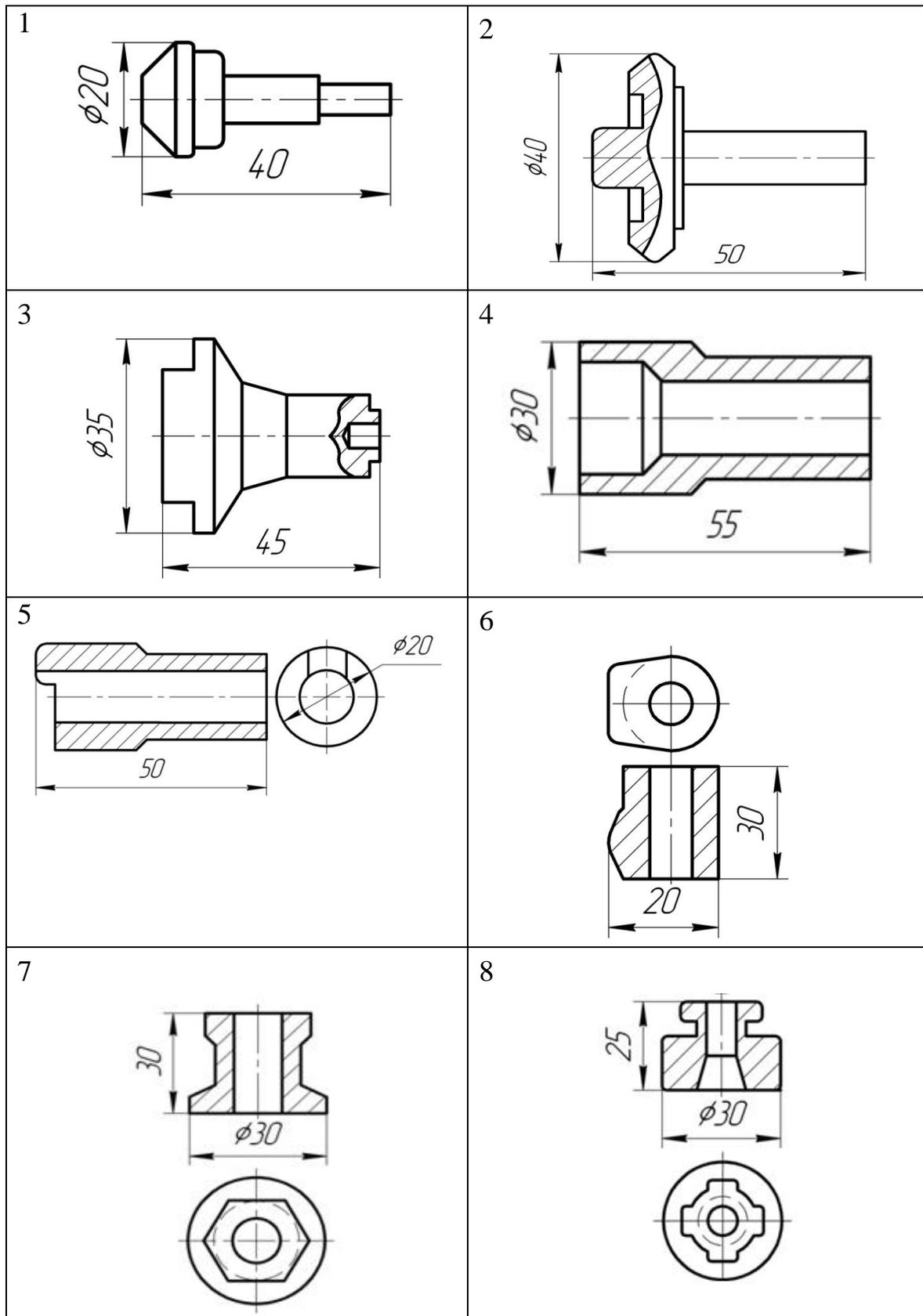
– высота $41,5_{-2,4}^{+1,2}$;

– толщина $59_{-1,3}^{+2,7}$;

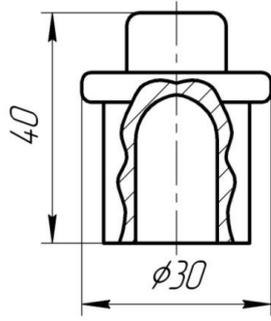
– толщина $56_{-1,3}^{+2,7}$.

Допуск длины стержня – 6,0 мм.

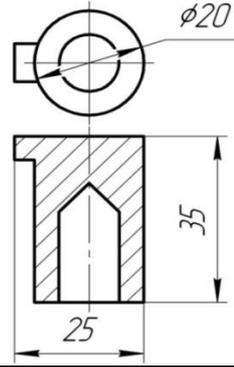
Варианты к заданию 8



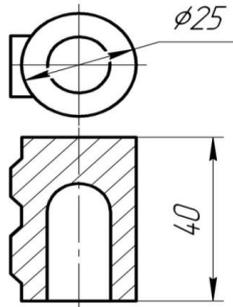
9



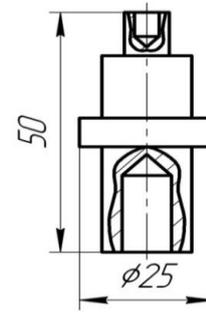
10



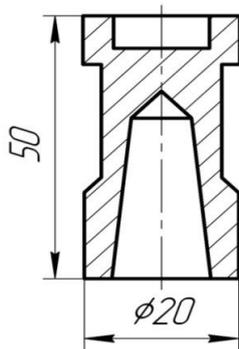
11



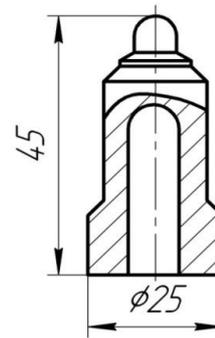
12



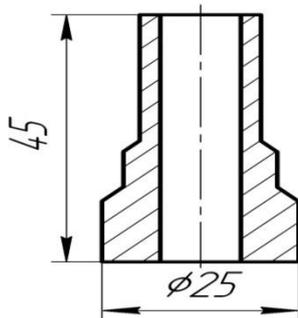
13



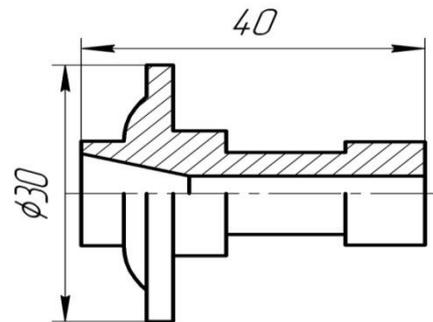
14



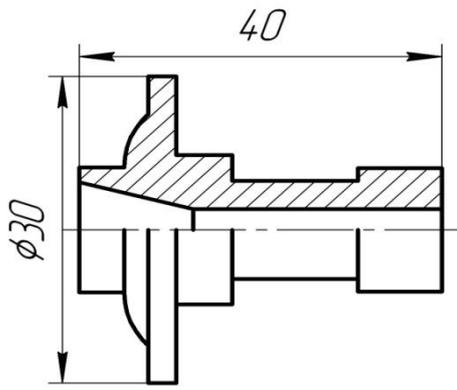
15



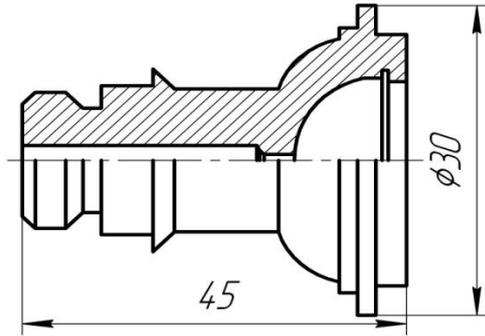
16



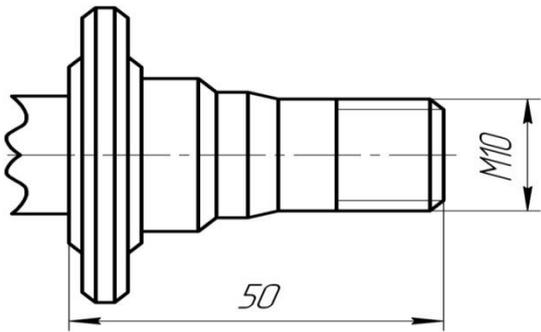
17



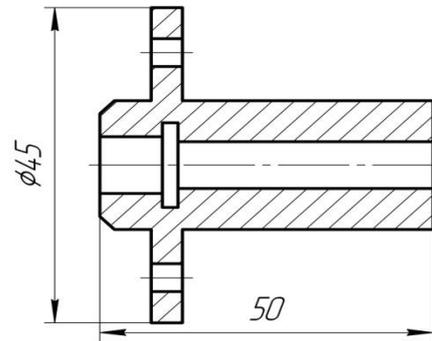
18



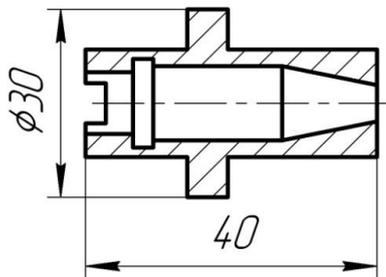
19



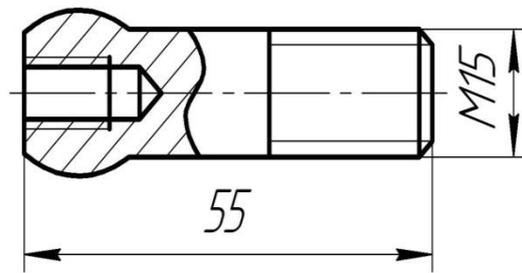
20



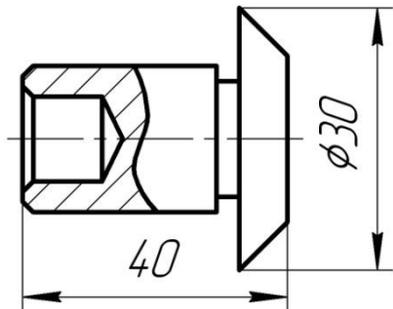
21



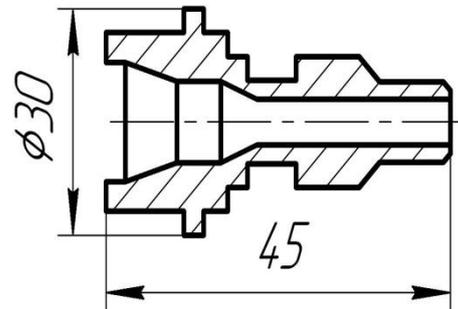
22



23



24



2.8 Проектирование заготовок, изготавливаемых поперечно-клиновой прокаткой. Задание 9

Цель – освоить методику и приобрести навыки проектирования поковок, изготавливаемых поперечно-клиновой прокаткой, а также:

- изучить конструктивно-технологические особенности прокатываемых поковок;
- по варианту индивидуального задания оценить технологичность изделия, назначить размеры и выполнить чертеж поковки в соответствии с ЕСКД.

Конструктивные и технологические особенности заготовок

Поперечно-клиновая прокатка выгодно отличается от других процессов обработки давлением. По экономичности горячая ПКП превосходит штамповку на молотах, прессах, ГKM и уступает только процессам холодной высадки и выдавливания. Поперечно-клиновой прокатке подвергают заготовки диаметром 0,5–130 мм, длиной 5–630 мм.

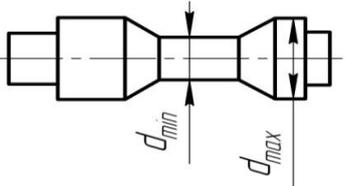
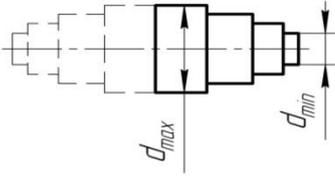
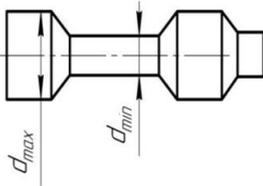
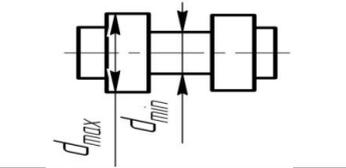
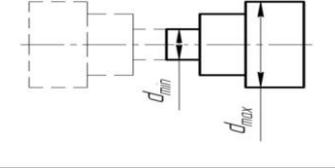
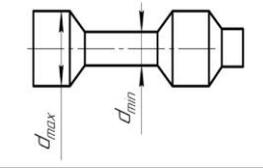
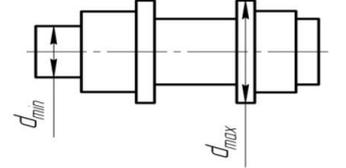
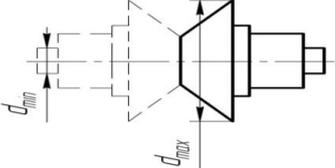
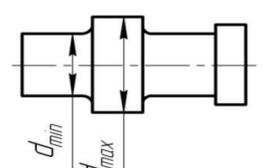
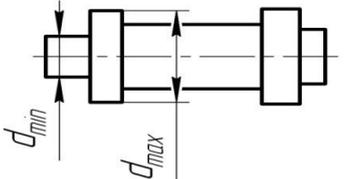
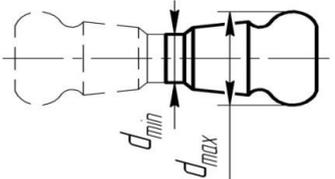
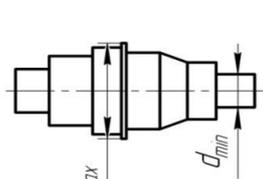
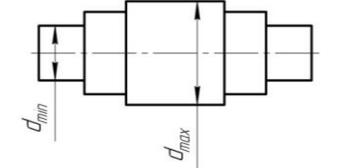
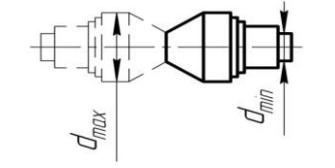
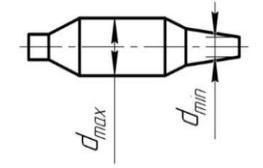
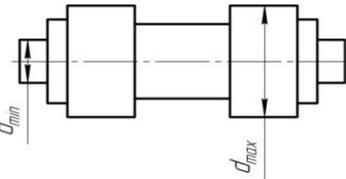
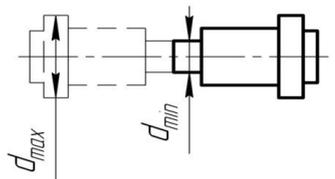
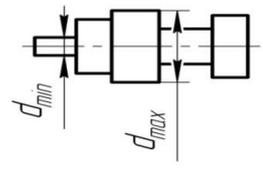
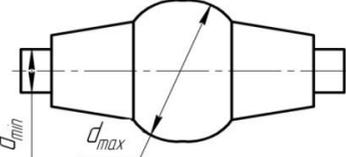
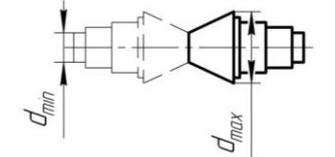
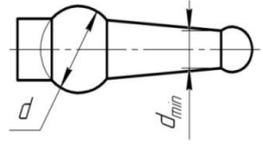
Прокаткой получают всевозможные осесимметричные детали с цилиндрическими, коническими, сферическими и другими сложными поверхностями, всевозможными канавками и выступами. Перепад диаметров между соседними ступенями может быть четырехкратным и более. В качестве исходной заготовки можно использовать трубу, прутки с шестигранным или квадратным профилем. Элементы с шестигранным и квадратным сечением могут быть сохранены без изменения в прокатанных заготовках.

Прокатанные заготовки могут быть использованы как готовые изделия или как промежуточные поковки для последующей штамповки или механической обработки. Поперечно-клиновой прокатке подвергаются практически все конструкционные материалы, цветные сплавы, а также многие инструментальные стали.

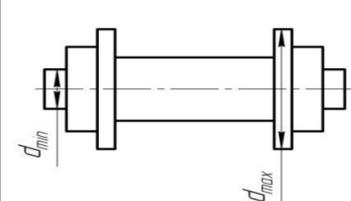
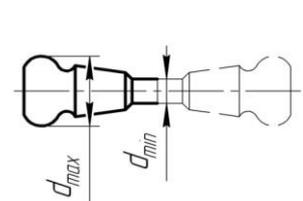
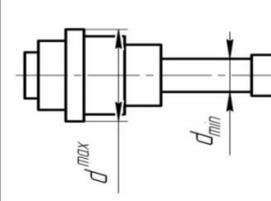
По форме заготовки разделяются на три группы: симметричные по длине, спаренные по длине и несимметричные ступенчатые по длине (табл. 2.21). В зависимости от соотношения размеров ступеней разделяются на восемь подгрупп. Первые четыре подгруппы характеризуются отношением $d_{max} / d_{min} \leq 2$ и подвергаются одномаршрутной прокатке. Последние четыре подгруппы характеризуются отношением $d_{max} / d_{min} > 2$ и подвергаются двухмаршрутной прокатке.

Прокатанные заготовки, подвергаемые шлифовке, относятся к первому классу точности, а заготовки, предназначенные под последующую штамповку или токарную обработку, относятся ко второму классу точности.

Таблица 2.21 – Классификация заготовок, получаемых поперечно-клиновой прокаткой

Подгруппа	Группа		
	Симметричные по длине	Спаренные по длине	Несимметричные по длине
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			

Окончание таблицы 2.21

8			
---	---	--	---

Разработка чертежа прокатываемой заготовки

От особенностей поперечно-клиновой прокатки зависит величина допусков, припусков и напусков. При их назначении необходимо учитывать характер следующих за прокаткой операций (шлифования, токарной обработки, штамповки в открытом или закрытом штампе). К прокатанным заготовкам, предназначенным для последующего шлифования или штамповки в закрытом штампе, предъявляются более жесткие требования по точности, чем к заготовкам, предназначенным для последующей токарной обработки или штамповки в открытом штампе.

Допуск на диаметральные размеры изделия T_d при поперечно-клиновой прокатке складывается из элементов допусков на износ T_1 и изготовление T_2 рабочего инструмента, отклонения от параллельности опорных (для инструмента) поверхностей поперечно-клиновых машин T_3 и на температурную усадку в пределах температурного интервала прокатки T_4

$$T_d = T_1 + T_2 + T_3 + T_4. \quad (2.2)$$

Величины допусков T_1 на износ заготовок, предназначенных для шлифования или штамповки в закрытом штампе (первый класс) и заготовок, предназначенных для токарной обработки или штамповки в открытом штампе (второй класс) приведены в таблице 2.22 (графы 2, 3). Величины допусков на точность изготовления T_2 указаны в графе 7; величины элементов допусков по отклонению от параллельности опорных поверхностей T_3 приведены в графе 4; элементы допусков по температурной усадке с учётом её колебания T_4 указаны в графе 8.

Таблица 2.22 – Допуски на прокатанные заготовки

Масса прокатанной заготовки		Элементы допусков, определяемые по массе прокатанных заготовок				
		По износу клинового инструмента T_1 , мм		По отклонению от параллельности поверхностей машины T_3 , мм	По взаимному смещению клиновых инструментов вдоль оси заготовки T_5 , мм	
		Изделия I класса	Изделия II класса		5	
1		2	3	4	5	
До 0,25	+0,20	+0,30	+0,05	-0,10		
Св. 0,25 до 0,63	+0,25	+0,38	+0,06	-0,15		
Св. 0,63 до 1,60	+0,32	+0,47	+0,10	-0,20		
Св. 1,60 до 2,50	+0,40	+0,60	+0,10	-0,20		
Св. 2,50 до 4,00	+0,45	+0,67	+0,20	-0,30		
Св. 4,00 до 6,30	+0,50	+0,75	+0,20	-0,30		
Св. 6,30 до 10,00	+0,55	+0,82	+0,20	-0,30		
Св. 10,00 до 16,00	+0,60	+0,90	+0,20	-0,30		

Диаметр или длина прокатанной заготовки, мм		Элементы допусков, определяемые по размеру прокатанных заготовок, мм					
		По точности изготовления инструмента T_2 , мм	По температурной усадке T_4 , мм	По отклонению от прямолинейности и короблению для заготовок под			
				шлифовальные	токарную обработку	штамповку в закрытых штампах	штамповку в открытых штампах
6		7	8	9	10	11	12
До 50	±0,05	±0,05	±0,05	0,2	0,3	0,5	0,6
Св. 50 до 120	±0,07	±0,12	±0,12	0,3	0,4	0,5	0,8
Св. 120 до 180	±0,08	±0,18	±0,18	0,3	0,5	0,6	1,0
Св. 180 до 260	±0,09	±0,26	±0,26	0,4	0,6	0,8	1,2
Св. 260 до 360	±0,10	±0,36	±0,36	0,5	0,8	1,0	1,6
Св. 360 до 500	±0,12	±0,50	±0,50	0,6	1,0	1,2	2,0
Св. 500 до 630	±0,14	±0,63	±0,63	0,8	1,2	1,6	2,4
Св. 630 до 800	±0,15	±0,80	±0,80	1,0	1,5	2,0	3,0

Допуск на **продольные** размеры изделия T_c при поперечно-клиновой прокатке складывается из элементов допусков на износ рабочего инструмента T_1 и учитывается лишь для размеров, зависящих от износа; элементов допуска на температурную усадку с учётом колебания температуры T_4 и элемента допуска на взаимное смещение клиновых инструментов вдоль оси заготовки T_5

$$T_c = T_1 + T_2 + T_4 + T_5. \quad (3.3)$$

Ориентировочные значения элементов допусков по взаимному смещению клиновых инструментов вдоль оси заготовки T_5 приведены в графе 5 и принимаются равными удвоенной величине допуска по взаимному смещению боковых установочных (для инструмента) поверхностей поперечно-вальцовочных машин.

При определении величины допусков на продольные размеры изделия по таблице 2.22 следует руководствоваться следующими положениями:

– если продольные размеры изделия обуславливают двухсторонний износ рабочего инструмента (размеры l, l_1 – рис. 2.21), допуски на них определяются по графе 2 или 3 с прибавлением к ним допусков по графе 5 и графам 7, 8;

– если продольные размеры изделия обуславливают односторонний износ рабочего инструмента (размеры l_2, l_3 – рис. 2.21), допуски на них определяются половинным значением допуска, указанного в графах 2 или 3 с прибавлением к ним допуска по графе 5 и допускам по графам 7, 8;

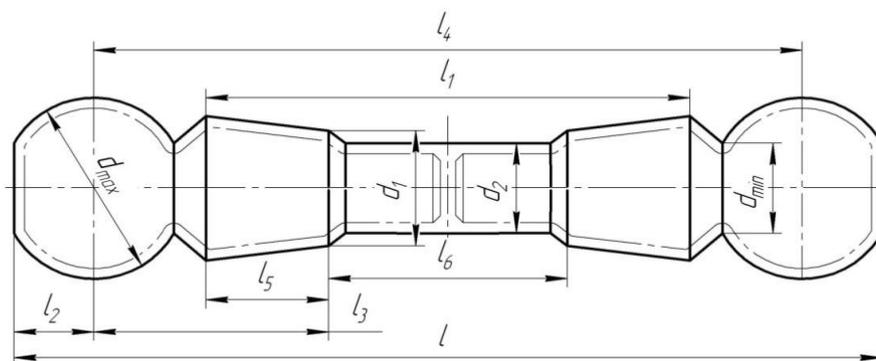


Рисунок 2.21 – Схема для определения допусков на размеры прокатанных заготовок

– если продольные размеры изделия определяют расстояние между осями его сферических или других элементов (размеры l_4, l_5 – рис. 2.21) или обуславливают односторонний равномерный износ рабочего

инструмента, допуски на них устанавливаются по графе 7 с прибавлением к ним допусков, указанных в графе 8.

Рассмотренный метод определения допусков на продольные размеры изделий распространяются на все внешние размеры. Для внутренних продольных размеров изделия (l_6 – рис. 2.21) применяется этот же метод, но предельные отклонения устанавливаются с обратными знаками.

Для прокатываемых заготовок первого класса точности могут быть установлены более жёсткие допуски, чем приведенные в таблице 2.22. В этом случае необходимо предусматривать специальные меры: периодическая поднастройка клинового инструмента, подогрев его перед началом работ и охлаждение в процессе работы. Максимальные припуски на механическую обработку прокатываемых заготовок приведены в таблице 2.23.

На участке изделий с некруглым поперечным сечением, как правило, назначаются напуски. Глухие или сквозные отверстия, шпоночные канавки и тому подобное в изделиях не выполняются. Кольцевые канавки шириной до 8 мм (разгрузочные или для выхода режущего инструмента при последующей механической обработке) целесообразно оформлять в процессе прокатки лишь в том случае, когда канавки оформляются окончательно, то есть шероховатость поверхностей не менее $Rz\ 80$, а допуски на ширину не превышают допусков, приведенных в таблице 2.22. На кольцевые канавки шириной более 8 мм напуски, как правило, не назначаются.

Радиусы скруглений внешних и внутренних углов в изделиях, предназначенных для механической обработки, применяются равными соответственно 0,5 и 0,7 значений, указанных в ГОСТ 7505–89.

Определение размеров заготовки

Расчётный диаметр исходной заготовки d_{op} определяется максимальным диаметром прокатанной заготовки

$$d_{op} = d_{max} + (+\Delta d_{max}), \quad (2.4)$$

где d_{max} – максимальное значение диаметра прокатанной заготовки; $+\Delta d_{max}$ – положительное отклонение номинального размера.

Номинальный диаметр исходной заготовки d_0 выбирается из сортамента проката, как ближайшее большее значение по сравнению с расчётным. При этом должно быть выполнено условие

$$d_{max} - (-\Delta d_{max}) \leq \frac{d_0 - (-\Delta d_0)}{k_y}, \quad (2.5)$$

Таблица 2.23 – Припуски на механическую обработку на сторону (мм) для прокатываемых заготовок

Масса прокатанной заготовки ,кг	Диаметр прокатанной заготовки, мм		Длина прокатанной заготовки, мм										
	До 50	Св. 50 до 120	До 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 260	Св. 260 до 360	Св. 360 до 500	Св. 500 до 630	Св. 630 до 800			
До 0,25	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1	1,3	1,3		
Св. 0,25 до 0,63	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3	1,5	1,5		
Св. 0,63 до 1,60	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,3	1,4	1,6	1,6		
Св. 1,60 до 2,50	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0	1,1	1,2	1,4	1,5	1,7	1,7		
Св. 2,50 до 4,00	0,8	0,9	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	1,9	1,9		
Св. 4,00 до 6,30	1,0	1,1	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,89	1,9	2,1	2,1		
Св. 6,30 до 10,00	1,1	1,2	1,4	1,5	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,2	2,2		
Св. 10,00 до 16,00	1,2	1,3	1,5	1,6	1,6	1,7	1,8	2,0	2,1	2,3	2,3		

где $-\Delta d_{max}$ – отрицательное отклонение d_{max} ; $-\Delta d_0$ – отрицательное отклонение d_0 проката; k_y – коэффициент, учитывающий угар металла при нагреве (принимается равным $1,005 \div 1,01$ – при индукционном нагреве, и $1,025$ – при нагреве заготовок в пламенных печах).

Номинальная длина исходной заготовки l_0 рассчитывается по формуле

$$l_0 = 1,27 \cdot \frac{V_0}{(d_0 - 0,5 \cdot (-\Delta d_0))^2}, \quad (2.6)$$

где V_0 – объём исходной заготовки, определяется по формуле

$$V_0 = k_y \cdot V_{пр} + V_k, \quad (2.7)$$

где $V_{пр}$ – объём прокатанной заготовки; V_k – объём концевых отходов.

Значение V_k рекомендуется рассчитывать по формуле

$$V_k = 0,75\pi \cdot (k_{h1} \cdot d_{k1}^3 + k_{h2} \cdot d_{k2}^3), \quad (2.8)$$

где d_{k1} , d_{k2} – диаметры концевых элементов изделия; k_{h1} , k_{h2} – коэффициенты, зависящие от степени обжатия и угла наклона деформирующей грани клинового инструмента, приближённо можно принимать равными $0,25$.

Пример выполнения чертежа прокатанной заготовки вала каретки (рис. 2.22 а). Последующая механическая обработка – шлифование, материал – сталь 15.

Производим корректировку чертежа прокатанной заготовки с целью максимального приближения размеров к требованиям процесса поперечно-клиновой прокатки. В данном случае ступени вала каретки диаметром $d_1 = 16 \pm 0,26$ мм и $d_2 = 20,6_{-0,52}$ мм формируются окончательно в процессе прокатки. При массе изделия около $0,26$ кг отклонения на указанные размеры в соответствии с таблицей 2.22 составляют $(\begin{smallmatrix} +0,4 \\ -0,1 \end{smallmatrix})$.

Тогда номинальные размеры будут равны

$$d_1 = 16 - 0,26 + 0,1 = 15,84 \text{ мм, принимаем } d_1 = 15,8_{-0,1}^{+0,4};$$

$$d_2 = 20,6 - 0,52 + 0,1 = 20,18 \text{ мм, принимаем } d_2 = 20,2_{-0,1}^{+0,4}.$$

Чертёж поковки после корректировки представлен на рисунке 2.22 б.

Назначаем припуски на обрабатываемые поверхности в соответствии с таблицей 2.23. Номинальные размеры изделия равны

$d_3 = 18,2$ мм; $d_4 = 16,8$ мм; $l_1 = 50,2$ мм; $l_2 = 6,4$ мм; $l_3 = 19,4$ мм;
 $l_4 = 26,6$ мм; $l_u = 142,2$ мм.

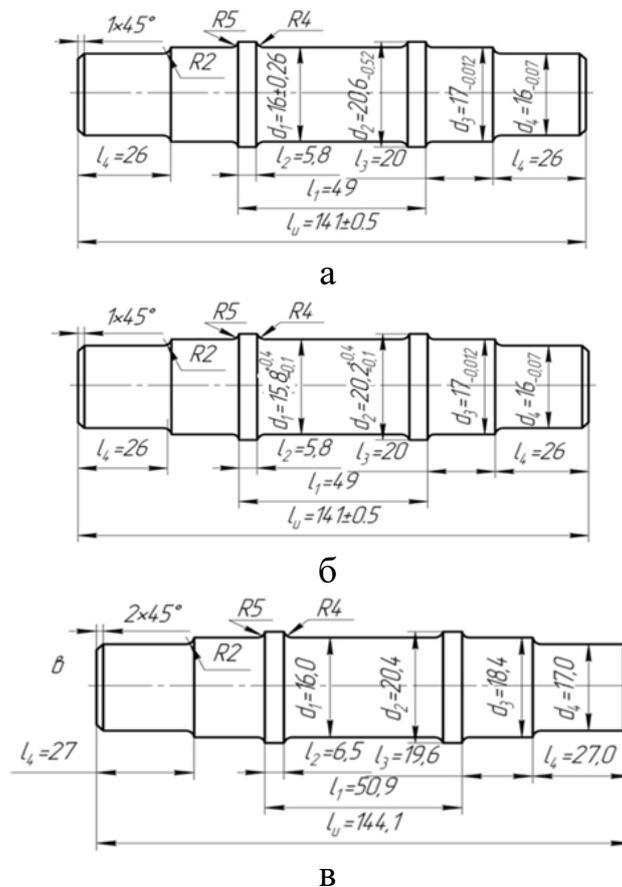


Рисунок 2.22 – Чертёж каретки:
 а – до корректировки, б – после корректировки,
 в – горячей прокатанной заготовки

По таблице 2.22 определяем отклонения на номинальные размеры изделия:

$d_3 = 18,2^{+0,4}_{-0,1}$ мм; $d_4 = 16,8^{+0,4}_{-0,1}$ мм; $l_1 = 50,2^{+0,4}_{-0,3}$ мм; $l_2 = 6,4^{+0,4}_{-0,3}$ мм;
 $l_3 = 19,4^{+0,1}_{-0,3}$ мм; $l_4 = 26,6^{+0,1}_{-0,3}$ мм; $l_u = 142,2^{+0,5}_{-0,1}$ мм.

Производим расчёт размеров исходной заготовки. Расчётный диаметр исходной заготовки в соответствии с формулой (2.4) равен

$$d_{0p} = 20,1 + 0,4 = 20,5 \text{ мм.}$$

По сортаменту выбираем ближайшее большее значение $d_0 = 21$ мм.

Выбираемая величина удовлетворяет условию (2.5).

Объём прокатанной заготовки V_{np} с учётом половины положительного отклонения равен $34,2 \text{ см}^3$.

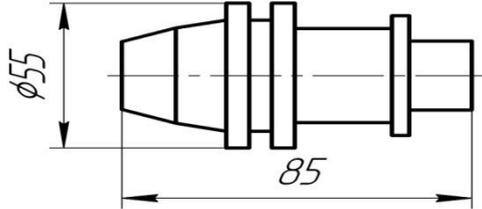
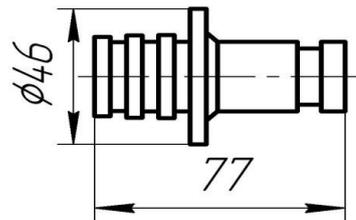
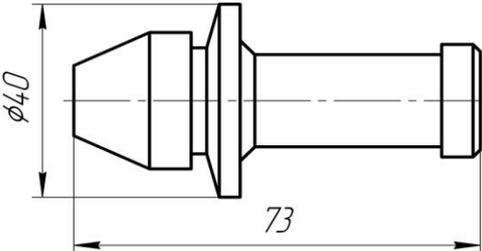
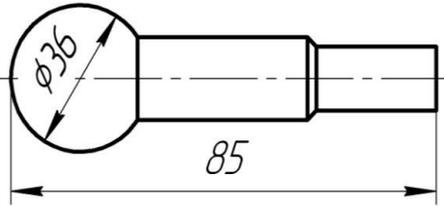
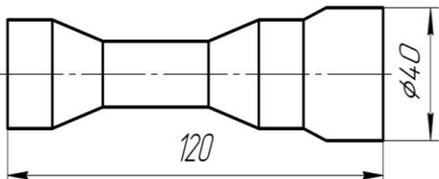
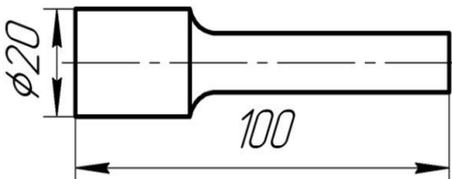
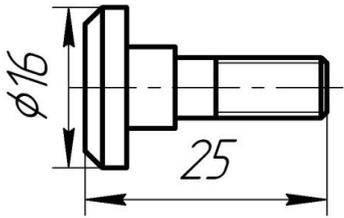
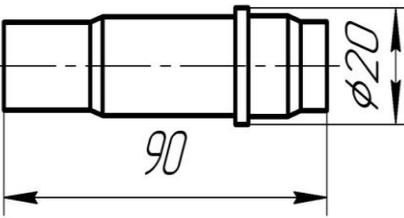
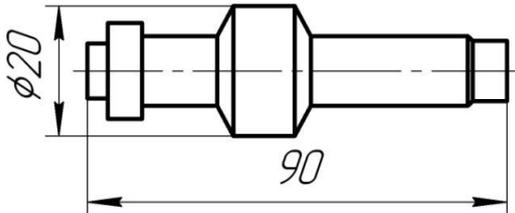
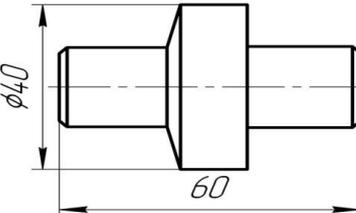
Объём концевых отходов определен по формуле (2.8) – $V_K = 1,0 \text{ см}^3$.

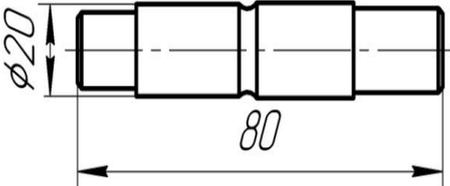
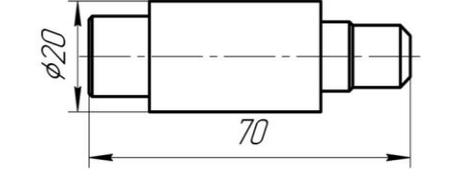
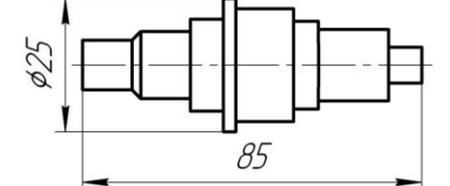
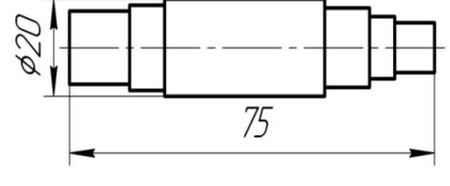
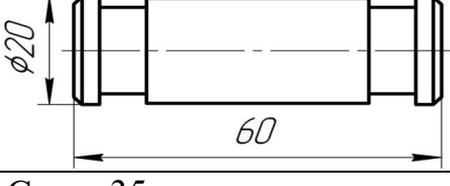
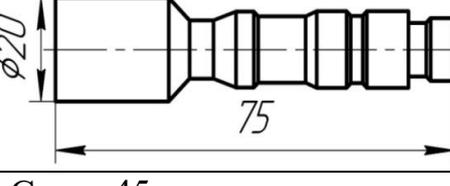
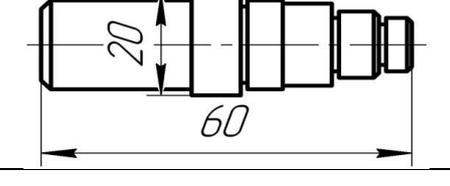
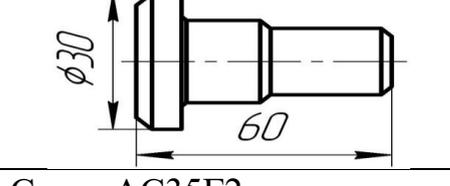
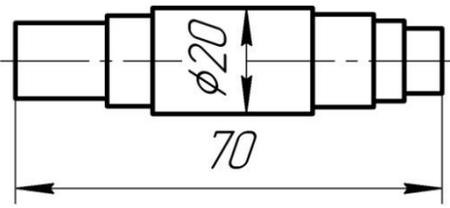
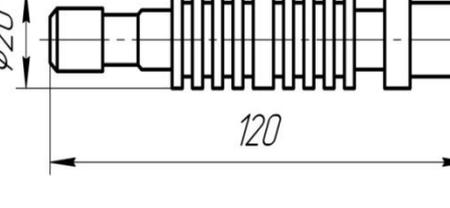
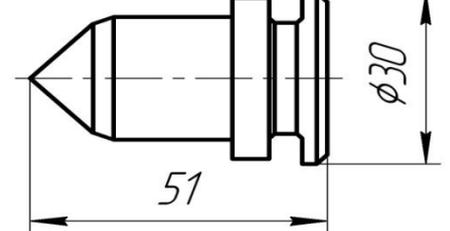
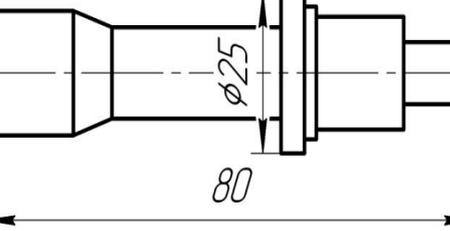
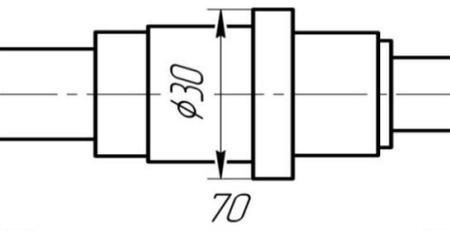
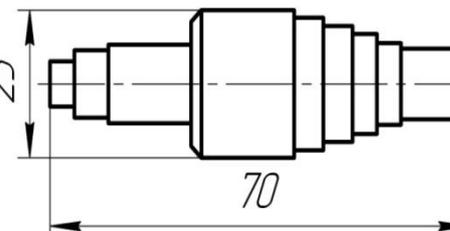
По формуле (2.7) находим объём исходной заготовки с учётом индукционного нагрева, для которого принят $k_y = 1,01 - V_0 = 35,6 \text{ см}^3$.

Номинальная длина исходной заготовки, рассчитанная по формуле (2.6) составляет $l_0 = 105 \text{ мм}$. С учетом колебания длины заготовки при резке получаем $l_0 = 105^{+3} \text{ мм}$.

Чертёж горячей прокатанной заготовки с учётом угара металла представлен на рисунке 2.22 в.

Варианты к заданию 9

<p>1 Сталь 40X</p> 	<p>2 Сталь 40X</p> 
<p>3 Сталь 40X</p> 	<p>4 Сталь 40X</p> 
<p>5 Сталь 18ХГТ</p> 	<p>6 Сталь 35ХГСА</p> 
<p>7 Сталь 20</p> 	<p>8 Сталь 45</p> 
<p>9 Сталь 40X</p> 	<p>10 Сталь 18ХГТ</p> 

<p>11 Сталь 45</p>  <p>$\phi 20$ 80</p>	<p>12 Сталь 35</p>  <p>$\phi 20$ 70</p>
<p>13 Сталь 40X</p>  <p>$\phi 25$ 85</p>	<p>14 Сталь 45</p>  <p>$\phi 20$ 75</p>
<p>15 Сталь 45</p>  <p>$\phi 20$ 60</p>	<p>16 Сталь 20</p>  <p>$\phi 20$ 75</p>
<p>17 Сталь 35</p>  <p>20 60</p>	<p>18 Сталь 45</p>  <p>$\phi 30$ 60</p>
<p>19 Сталь 40X</p>  <p>$\phi 20$ 70</p>	<p>20 Сталь АС35Г2</p>  <p>$\phi 20$ 120</p>
<p>21 Сталь 35</p>  <p>$\phi 30$ 51</p>	<p>22 Сталь 18ХГТ</p>  <p>$\phi 25$ 80</p>
<p>23 Сталь 38ХФР</p>  <p>$\phi 30$ 70</p>	<p>24 Сталь 40X</p>  <p>25 70</p>

2.9 Использование возможностей CAD/CAE в расчёте технологических процессов обработки давлением

Широкое развитие компьютерной техники и технологий, прикладного программного обеспечения, активно используется для проектирования штампованных заготовок и моделирования процессов обработки металлов давлением, осуществляемых при обработке листовых материалов, получении объёмных штампованных заготовок как в холодном, так и горячем состоянии.

Так, САПР КОМПАС 3D в приложении «Листовое моделирование» кроме проектирования изогнутых деталей из листа (см. подраздел 1.8), обеспечивает в автоматизированном режиме конструирование таких элементов в объёмных листоштампованных деталях, как «Обечайка», «Замыкание углов», «Открытую штамповку» (отбортовку в отверстиях), «Закрытую штамповку» (формирование стаканов), «Жалюзи», «Буртик» (формирование буртиков по периметру). Более сложные элементы деталей, которые получают при сложно-напряжённом деформировании исходных заготовок, в этом приложении не могут быть рассчитаны.

Программные продукты Autoform, SuperForge, Pam-Stam, FormingSuite, Ls-Dyna позволяют описать листовую штамповку, выполнить симуляцию процесса и изучить его особенности, а также обладают дополнительным набором инструментов, с помощью которых выполняется предварительный анализ вероятности образования брака, оценивается коэффициент использования материала при различных вариантах раскроя, обеспечивается внесение изменений в геометрическую модель изделия, учитывается пружинение материала.

Программный продукт FormingSuite является разработкой фирмы Forming Technologies Incorporated (FTI), которая считается лидером в области создания инженерного программного обеспечения для проектирования процессов листовой штамповки. FormingSuite включает интерактивную среду для создания и документирования процессов планирования листовой штамповки с учётом различных особенностей конструкции элементов деталей (фланцы, отверстия и выштамповки).

Основные возможности программного обеспечения компании FTI:

- автоматизированное решение проблем, связанных с уменьшением затрат на материалы;
- изменение конструкции элементов изделий, которые улучшают коэффициент использования материала, уменьшают вес и затраты на материал;

- моделирование процесса штамповки с выявлением проблем формовкости на стадии проектирования листовых изделий снижает необходимость в доработке проекта;

- с использованием диаграммы предельного формования (FLD) определяются трещины и складки, деформации по толщине, максимальные/минимальные главные деформации и т. д.;

- вычисление обратного пружинения позволяет проводить компенсацию геометрии инструментов для штамповки листовых деталей с заданным допуском на размеры;

- определение нормативной себестоимости для изделий и оснастки с подробным технологическим планом расчёта стоимости изделий;

- определение требований к оборудованию по усилию, размеру станины, рабочей высоте, необходимой энергии, подбор оборудования;

- анализ процессов штамповки для разработки заготовок и валидации технологического процесса.

DEFORM – специализированный инженерный программный комплекс, предназначенный для анализа процессов обработки металлов давлением, термической и механической обработки. DEFORM позволяет проверить, отработать и оптимизировать технологические процессы непосредственно на экране монитора компьютера, а не в ходе экспериментов на производстве методом проб и ошибок. Благодаря этому существенно сокращаются сроки выпуска продукции, повышается её качество и снижается себестоимость.

DEFORM-2D/3D разработана фирмой Scientific Forming Technologies Corporation (SFTC). Программный комплекс DEFORM имеет гибкую модульную структуру, позволяющую пользователю выбрать и приобрести оптимальный набор модулей под номенклатуру решаемых задач.

Основными модулями DEFORM являются:

- DEFORM-3D – модуль, предназначенный для моделирования трёхмерных процессов обработки металлов давлением.

- DEFORM-2D – модуль, предназначенный для моделирования двумерных процессов обработки металлов давлением (осесимметричные и плоские задачи).

- DEFORM-F3 – модуль, предназначенный для моделирования трёхмерных процессов обработки металлов давлением. Является «облегченной» версией DEFORM-3D .

- DEFORM-F2 – модуль, предназначенный для моделирования двумерных процессов обработки металлов давлением (осесимметричные и плоские задачи), «облегченная» версия DEFORM-2D .

– DEFORM HT3 и DEFORM HT2 – модули, предназначенные для моделирования соответственно трёхмерных и двухмерных (осесимметричные и плоские задачи) процессов термической обработки. Кроме того, программный комплекс DEFORM включает в себя ряд дополнительных модулей:

– Ring Rolling (3D) – модуль для моделирования процессов раскатки колец. Может работать как отдельный модуль, так и как приложение к комплексу DEFORM-3D.

QForm 2D/3D – программный комплекс для моделирования и оптимизации процессов объёмной обработки металлов давлением. Программный продукт основан на методе конечных элементов и разрабатывается фирмой «КванторФорм» (Россия). Разработка началась в 1991 году с выпуска программы FORM-2D.

Ниже рассматривается использование программного обеспечения QForm V8, инсталлированного в соответствии с пакетом поставки продукта.

Каждый вариант расчёта называют проектом.

Моделирование в QForm состоит из четырёх этапов:

1. Подготовка геометрии.
2. Задание исходных данных проекта.
3. Расчёт проекта.
4. Анализ результатов моделирования.

Подготовка геометрии

Для 2D-моделирования процесса штамповки используются двумерные замкнутые контуры инструментов и заготовок. Загрузка 2D-геометрии в проект осуществляется из файлов с расширением .dxf, подготовленных в сторонних САД-системах, или из файлов с расширением .cgs, подготовленных в собственном редакторе геометрии QDraft.

Для 3D-моделирования используются трёхмерные тела инструментов и заготовок. Загрузка 3D-геометрии в проект осуществляется из файлов с расширением .shl или .qshape, подготовленных в редакторе геометрии QShape, который предназначен для импорта твердотельной или поверхностной геометрии из файлов с расширением .step, .igs и .x_t и преобразования их в конечно-элементные тела.

2D осесимметричная задача

При штамповке круглых в плане поковок (рис. 2.23 а) металл течёт равномерно во все стороны от оси симметрии. Такое течение металла называется осесимметричным. В этом случае достаточно рассматривать формоизменение только в осевом сечении поковки (рис. 2.23 б).

Для моделирования деформации осесимметричной поковки необходимо подготовить контуры штампов и заготовки в осевом сечении, как показано на рисунке 2.24.

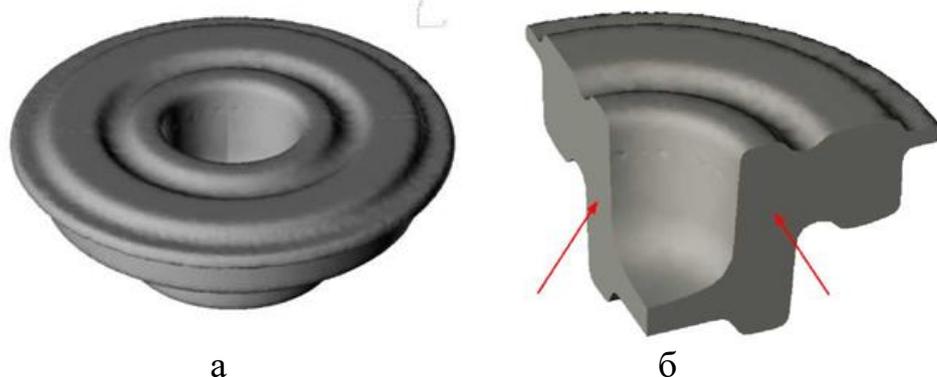


Рисунок 2.23 – Осесимметричная поковка (а) и её часть, ограниченная осевыми сечениями (б), для анализа деформирования

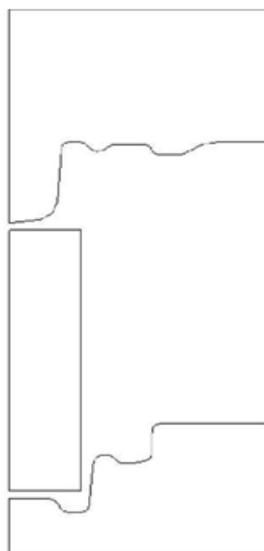


Рисунок 2.24 – 2D-геометрия осесимметричных объектов в виде контуров инструментов и заготовки в осевом сечении

Задание исходных данных

Ввод исходных данных проекта осуществляется с помощью «Панели исходных данных» (рис. 2.25), которая при создании новой операции содержит следующие вкладки: «Процесс», «Геометрия», «Параметры заготовки», «Параметры инструмента», «Условия остановки», «Граничные условия», «Удары», «Параметры расчёта».

Задание исходных данных выполняется в расположения вкладки, однако возможен возврат к корректировке данных на любом этапе их

ввода. Далее рассмотрен порядок использования вкладок системы расчёта (рис. 2.25).

Во вкладке «Процесс» задают название, тип процесса и тип задачи.

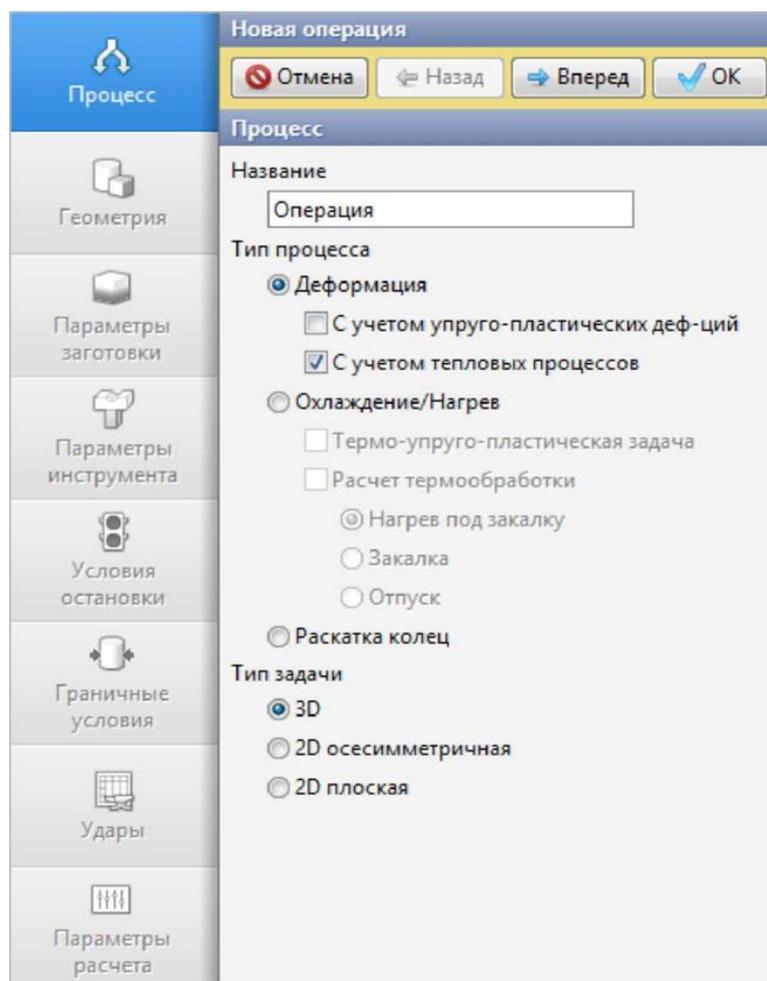


Рисунок 2.25 – Общий вид вкладок на панели исходных данных

Во вкладке «Тип процесса» указывают, какой процесс будет рассчитываться – «Деформация», «Охлаждение/нагрев» или «Раскатка колец».

При расчёте типа процесса «Деформация» в программе по умолчанию моделируется вязко-пластическая деформация материала с учетом тепловых процессов: теплообмена заготовки с инструментом и окружающей средой, теплопроводности, тепловыделения в результате деформации и трения. Если снять галочку напротив вкладки «Учет тепловых процессов», то перечисленные выше тепловые процессы при расчёте учитываться не будут. Если поставить галочку напротив вкладки «Учёт упруго-пластических деформаций», при расчёте

дополнительно будут учитываться упругие свойства, заданные в модели деформируемого материала.

Тип процесса «Охлаждение/Нагрев» подразумевает моделирование охлаждения или нагрева заготовки в результате взаимодействия с окружающей средой или инструментом. Если поставить галочку рядом с вкладкой «Термо-упруго-пластическая задача», при расчёте охлаждения или нагрева будут также учитываться упруго-пластические свойства, заданные в модели деформируемого материала. Вкладки «Закалка» и «Отпуск» активируются в том случае, когда необходим расчёт фазовых превращений и изменения твёрдости при термообработке.

Во вкладке «Тип задачи» можно выбрать один из следующих типов: трёхмерная (3D), плоская осесимметричная (2D осесимметричная), плоская (2D плоская).

Геометрия

Во вкладке «Геометрия» осуществляется загрузка исходной геометрии для моделирования, задание плоскостей симметрии и осей, а также позиционирование всех объектов перед началом расчёта. Здесь можно добавлять, удалять или заменять геометрические объекты, менять их свойства.

Исходная геометрия импортируется командой «Загрузить из файла». Возможна работа с плоской и пространственной геометрией. Для 2D-моделирования загружаются файлы с расширением .dxf, .cgs, геометрия для 3D-моделирования – из файлов .qshape, .shl.

Параметры заготовки

Во вкладке «Параметры заготовки» указываются материал, начальная температура и другие параметры заготовки. Материал заготовки назначается из «Базы данных деформируемых материалов».

Если заготовка передается из предыдущей операции, то материал, температура и накопленная деформация по умолчанию наследуются. При необходимости можно отключить наследование и ввести новые значения. Введение какого-либо значения в поле «Накопленная деформация» означает задание равномерной начальной степени деформации по всему объёму заготовки.

Дополнительно при расчёте деформации порошкового материала можно указать относительную плотность материала, а при расчёте микроструктуры – начальный размер зерна. В случае, если в расчёте задано несколько заготовок, необходимо назначить трение между заготовками.

Параметры инструмента

Во вкладке «Параметры инструмента» указываются приводы инструментов, смазка между заготовкой и инструментами, материал, начальная температура и другие параметры инструментов.

Приводы назначаются из «Базы данных оборудования». В базе данных оборудования доступны молоты, механические, гидравлические, винтовые прессы, силовой прижим, а также произвольный привод, позволяющий задавать поступательное и вращательное движение инструмента. Для всех неподвижных инструментов задаётся неподвижный привод.

В случае деформирования материала со смазкой её назначают из «Базы данных смазок» с учётом параметров трения и теплопередачи между заготовкой и инструментом.

Материал инструмента назначается из «Базы данных материалов инструмента», в которой содержатся механические и теплофизические свойства.

Возможна активация решения совместной задачи механического взаимодействия заготовки с инструментом.

Расчёт без учета «Совместной деформации» означает, что деформация заготовки осуществляется абсолютно жёстким инструментом. Можно активировать галочку рядом с вкладкой «Совместная деформация». В этом случае деформация заготовки будет осуществляться упруго-пластическим инструментом, и форма контакта между инструментом и заготовкой будет меняться с учётом упругой деформации инструмента. При расчёте совместной деформации дополнительно необходимо задать закрепления инструментов во вкладке «Граничные условия».

В программе доступно задание вариантов теплообмена инструмента с заготовкой. Для этого раскрывают вкладку «Теплообмен с заготовкой» и выбирают требуемый вариант из раскрывшегося меню. По умолчанию установлен «Простой» теплообмен.

Дополнительно во вкладке «Параметры инструмента» можно указать способ сведения в контакт инструментов с заготовкой перед началом расчёта, трение между инструментами, задать подпружиненный инструмент и параметры пружины.

Условия остановки

Во вкладке «Условия остановки» задают момент окончания расчёта для доступных параметров:

- расстояние – задаётся расстояние между указанными инструментами;
- время – задаётся время процесса;
- ход инструмента – задаётся перемещение привода инструмента;
- ось 1 (или ось 2) – поворот инструмента – задаётся угол поворота инструмента вокруг оси 1 или оси 2;
- конечное положение – моделирование останавливается при достижении инструментом положения, заданного при позиционировании;

– максимальное усилие – расчёт останавливается при достижении заданного усилия на указанном инструменте.

Граничные условия

Во вкладке «Граничные условия» (рис. 2.26) могут быть заданы либо созданы дополнительные условия моделирования: параметры окружающей среды, граничные условия для инструментов и заготовок.

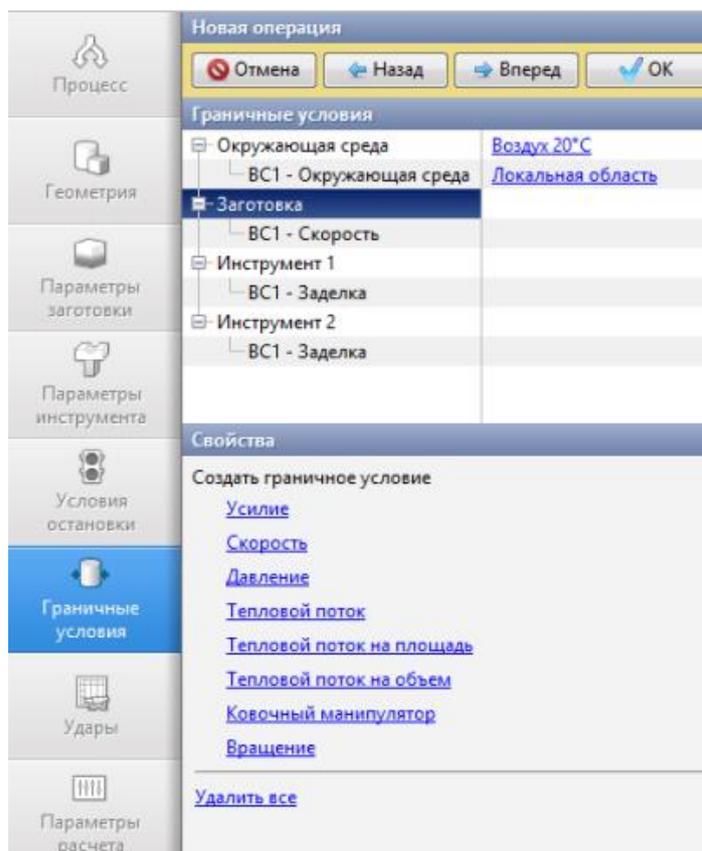


Рисунок 2.26 – Вкладка задания граничных условий

Граничные условия для инструментов необходимо назначать в том случае, когда требуется расчёт инструмента в режиме «Постпроцессора» или осуществляется моделирование «Совместной деформации» (см. ниже).

Удары

Во вкладке «Удары» назначается количество ударов в операции, время охлаждения в окружающей среде и в инструменте и другие параметры.

Параметры расчёта

Во вкладке «Параметры расчёта» задаются методы и параметры моделирования, адаптация конечно-элементной сетки и другие дополнительные настройки. Параметры расчёта делятся на четыре группы: «Система», «Заготовка», «Инструмент» и «Раскатка колец».

Выполнение перечисленных выше действий позволяет выполнить расчёт проекта.

Расчёт проекта

В QForm выделяют два типа расчёта:

1. «Основной», при котором выполняют моделирование процессов «Деформация» или «Охлаждение/нагрев заготовок».

2. Расчёт в режиме «Постпроцессора» после моделирования «Основного» расчёта, в котором выполняют расчёт инструмента, трассировку линий, точек и специальных расчётных полей.

После выполнения необходимых расчётов файлы проекта необходимо сохранить. В этом случае в заданной папке системы хранения информации будут созданы два файла: первый с расширением – *[имя файла].qform*, второй – *[имя файла].data*. Первый файл содержит необходимые данные для моделирования процесса, второй – набор файлов с результатами моделирования и трассировочной информацией.

В качестве примера расчёта на рисунке 2.27 показано распределение эквивалентных напряжений в инструментах на выбранной записи моделирования.

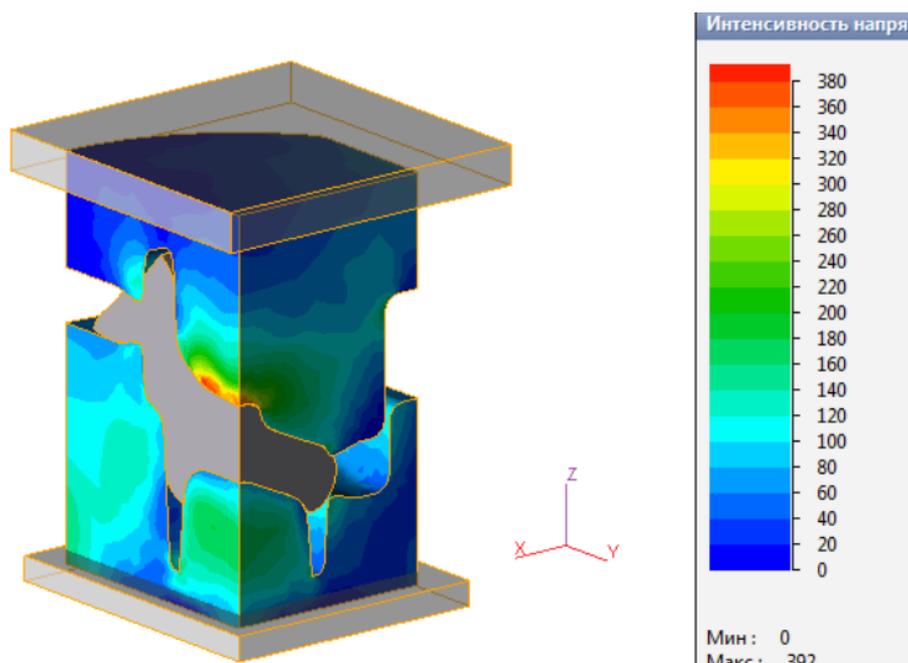


Рисунок 2.27 – Пример расчёта эквивалентных напряжений

Может быть получен результат расчёта трассируемых точек и линий. Запуск расчёта выполняют как показано на рисунке 2.28 а, результат расчёта приведен на рисунке 2.28 б.

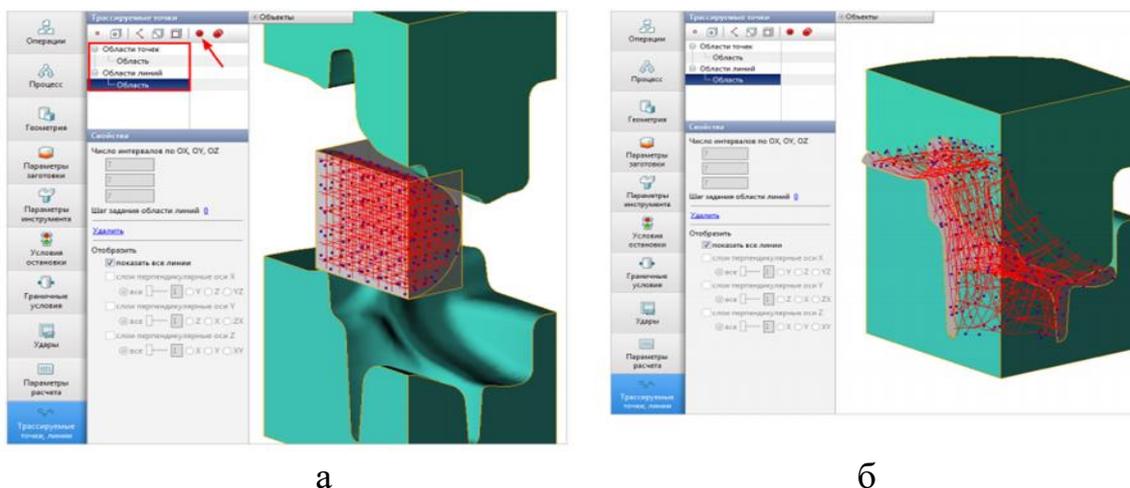


Рисунок 2.28 – Расчёт трассируемых точек и линий:
 а – вкладка запуска расчёта; б – результат расчёта

Просмотр результатов

В QForm интерфейсная часть и расчётное ядро полностью разделены и работают независимо, поэтому просмотр всех результатов моделирования возможен как в процессе расчёта, так и после его остановки. В программе имеется широкий набор инструментов для управления отображением объектов, вывода расчётных полей, графиков и трассировочной информации

Инструменты для просмотра и анализа результатов моделирования в QForm разделены на следующие группы:

- отображение объектов;
- вывод расчётных полей;
- сечения и измерения;
- вывод графиков;
- сохранение анимаций и изображений;
- отображение трассируемых точек и линий;
- дополнительные возможности (вывод графиков энергосиловых и кинематических характеристик инструментов, а также расчётных значений в трассируемых точках).

Выполнение указанных выше действий позволяет автоматизировать технологические расчёты процесса горячей объёмной штамповки, получить необходимые данные для проектирования инструментов и подготовки технологической документации. Примеры, поясняющие последовательность действий, выполняемых технологом при работе с программным обеспечением, ускоряют изучение продукта и обеспечивают его использование в технологических расчётах процессов горячей обработки давлением.

Ниже приведен пример использования программы QForm 3D в производстве компрессорных лопаток газотурбинных двигателей.

В качестве исходной информации перед проектированием штампованной заготовки лопатки использована геометрическая модель лопатки, разработанная конструктором, например, в САД системе NX (рис. 2.29).

На её основе спроектирована модель штампованной заготовки лопатки с припусками, допусками и технологическими бобышками (рис. 2.30), геометрия которой предварительно согласовывается с подразделением, завершающим изготовление лопатки в технологическом процессе.

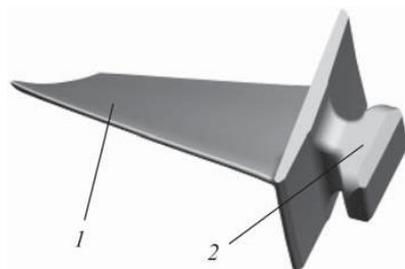


Рисунок 2.29 – Модель лопатки (материал – титановый сплав ВТ8, длина лопатки 25 мм): 1 – перо; 2 – замок лопатки

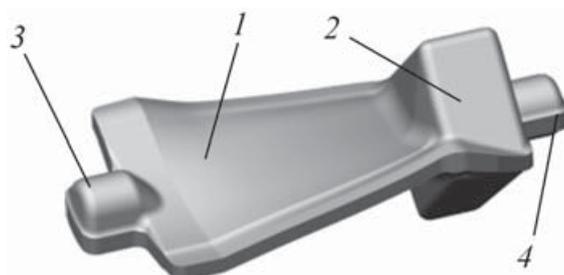


Рисунок 2.30 – Модель штампованной заготовки лопатки:
1 – перо; 2 – замок; 3, 4 – технологические бобышки

На следующем этапе разрабатывается схема технологического процесса штамповки заготовки лопатки (так называемая маршрутная карта технологического процесса), предусматривающая в качестве исходной заготовки прутки круглого поперечного сечения (рис. 2.31), объём которого равен объёму изготавливаемой штамповки с учётом объёма металла, расходуемого на облой при окончательной штамповке заготовки.

Прямое выдавливание предполагает получение определённого объёма цилиндрической заготовки, расходуемого на оформление перьевой части заготовки и технологической бобышки с облоем, комбинированное выдавливание обеспечивает осадку оставшейся цилиндрической части заготовки для набора металла, расходуемого на оформление замка штамповки лопатки и технологической бобышки на

замке, затем следует окончательная штамповка фасонной заготовки в МОЛОТОВОМ ШТАМПЕ.

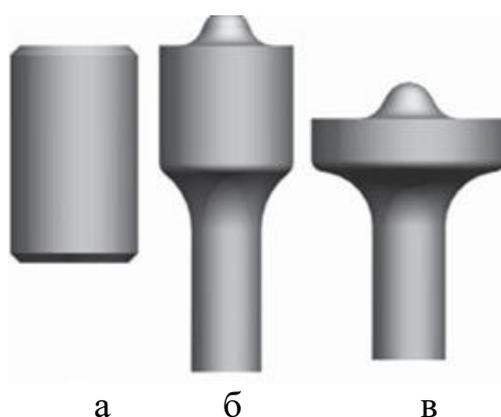


Рисунок 2.31 – Модели исходной прутковой заготовки (а) и полуфабрикатов после выполнения переходов прямого (б) и комбинированного (в) выдавливания

Для моделирования первого перехода прямого выдавливания исходной заготовки и моделирования второго перехода комбинированного выдавливания в системе QForm 3D проектируют пуансоны и матрицы, задают геометрические параметры заготовок, свойства материала, условия деформирования и выполняют непосредственно моделирование процессов выдавливания.

Затем моделируют операцию формоизменения полуфабриката в молотовом штампе (рис. 2.32 а–б). Из результатов моделирования в QForm 3D видно (рис.2.32 б), что на заготовке лопатки в процессе штамповки образуются заковы и наблюдается незаполнение гравюры штампа в областях замка и технологической бобышки на конце пера заготовки. При этом формируется чрезмерно большой по площади и объему облой в зоне замка штампуемой заготовки лопатки.

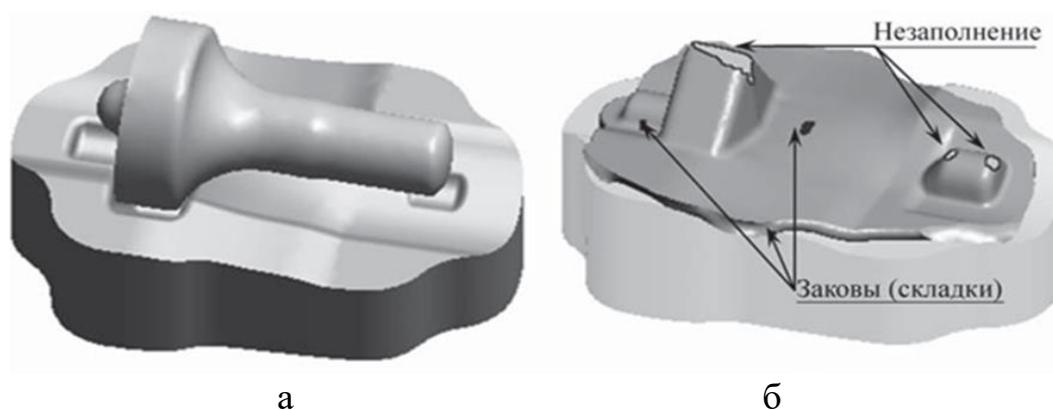


Рисунок 2.32 – Начальный (а) и завершающий (б) этапы деформирования полуфабриката в молотовом штампе

На основании полученных результатов моделирования корректируют первый переход прямого выдавливания – несколько увеличивают длину выдавленной части заготовки (для повышения надёжности заполнения технологической бобышки на конце пера заготовки) и уменьшают длину исходной прутковой заготовки (для сокращения объёма металла, расходуемого на образование облоя). Кроме того, изменяют геометрию инструмента на втором переходе выдавливания заготовки: цилиндрическую форму осаженной части заготовки заменяют на форму параллелепипеда. Ожидается, что этот приём будет способствовать более надёжному заполнению гравюры штампа в угловых зонах замка при одновременном уменьшении объёма металла, расходуемого на образование облоя.

По откорректированным переходам проектируют инструмент для расчёта в QForm 3D и выполняют повторное моделирование технологического процесса штамповки заготовки лопатки. После повторного моделирования процесса штамповки заготовки лопатки видно, что гравюра штампа целиком заполнена металлом заготовки, а заковы (складки) отсутствуют (рис. 2.33 б).

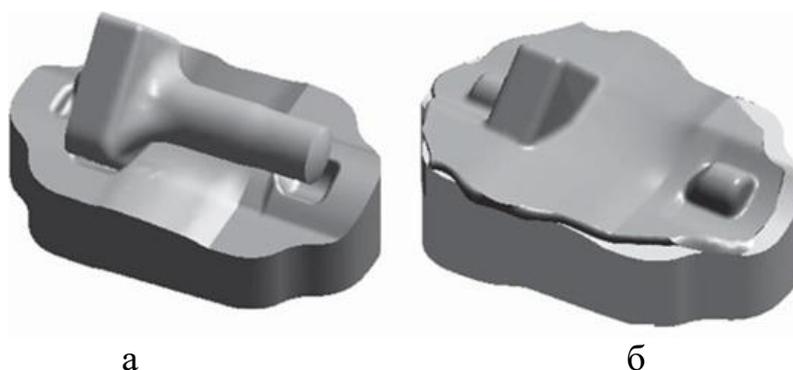


Рисунок 2.33 – Начальный (а) и завершающий (б) этапы деформирования полуфабриката в молотовом штампе

QForm 3D позволяет оценить температурные поля на поверхности и в объёме штампуемой заготовки на любой стадии формоизменения заготовки. На рисунке 2.34 приведены температурные поля штампуемой заготовки.

Важным фактором при штамповке титановых сплавов является соблюдение температурного интервала штамповки, верхняя граница которого не должна превышать температуру полиморфного превращения сплава для предотвращения его перегрева. Максимальное по величине температурное поле не превышает температурного диапазона деформирования титанового сплава BT8.

После того, как моделирование технологического процесса штамповки заготовки лопатки в программе QForm 3D успешно

завершено, приступают к разработке моделей формоизменяющей оснастки (штампов), разрабатывают конструкторскую документацию на оснастку и оформляют комплект технологической документации на изготовление штампованной заготовки лопатки.

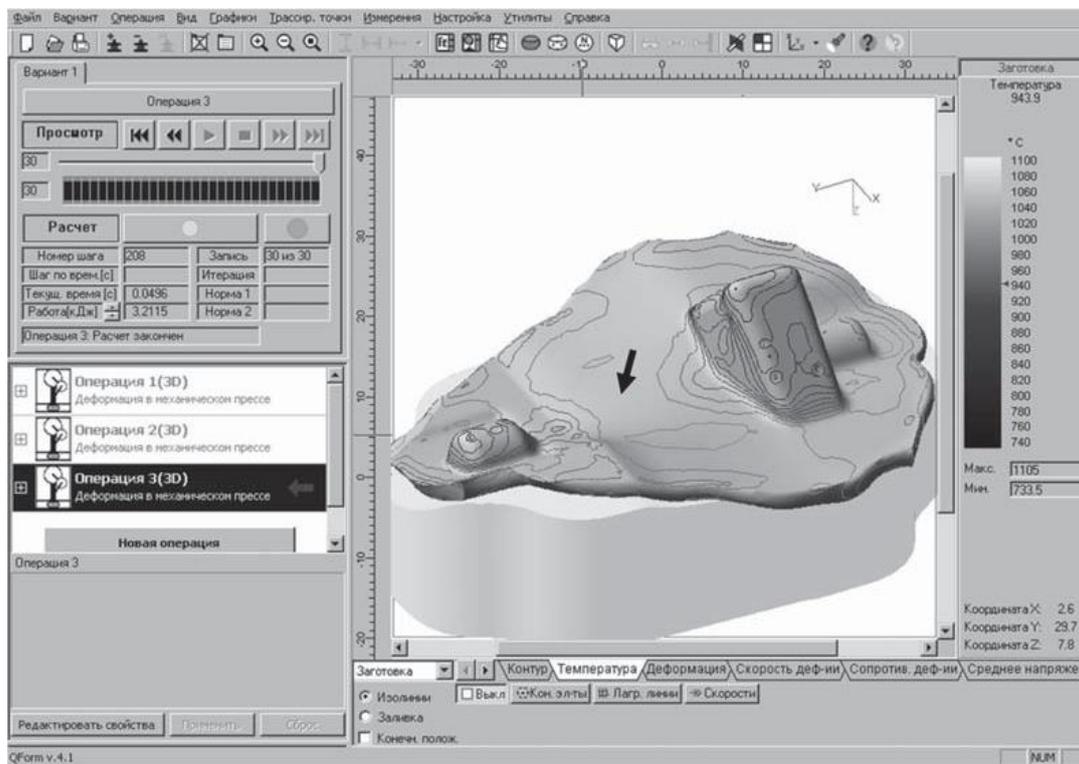


Рисунок 2.34 – Интерфейс программы QForm3D при анализе температурных полей в конце штамповки заготовки

3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАГОТОВОК, ИЗГОТОВЛЯЕМЫХ МЕТОДАМИ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

3.1 Общие сведения о порошковой металлургии

Технологии порошковой металлургии позволяют получать изделия с уникальными свойствами на основе многокомпонентных порошковых смесей, коэффициент использования материала составляет более 97 %, уменьшается количество операций, снижаются расходы на механическую обработку.

Необходимо учитывать и недостатки порошковой металлургии: сравнительно высокая стоимость порошков; необходимость спекания в защитной атмосфере; сложность получения металлов и сплавов в беспористом состоянии; трудность изготовления изделий больших размеров.

Достоинства и недостатки не являются постоянно действующими факторами и изменяются как в зависимости от состояния и развития самой порошковой металлургии, так и смежных областей.

Конструкционные изделия из порошковых материалов (КПМ) по степени нагруженности разделяются на четыре группы (табл. 3.1):

1) малонагруженные детали, прочность и жесткость которых не рассчитывают, а размеры выбирают из конструктивных или технологических соображений;

2) умеренно нагруженные детали, работоспособность которых в течение всего периода эксплуатации при действующих напряжениях обеспечивают КПМ с пределом прочности, не превышающим при статическом одноосном растяжении 45–65 % (в условиях динамического нагружения 35–60 %) соответствующих характеристик беспористого материала аналогичного состава;

3) средненагруженные детали находятся под воздействием значительных статических или умеренных динамических нагрузок, необходимый уровень прочности обеспечивает материал пористостью 2–9 %;

4) тяжело нагруженные детали находятся под воздействием статических или динамических нагрузок большой интенсивности, относительная прочность таких деталей приближается к прочности беспористого материала.

Наиболее распространенным способом изготовления заготовок из конструкционных порошковых материалов является холодное прессование с последующим спеканием. Параметры качества прессовок приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.1 – Характеристики конструкционных порошковых материалов для деталей различной нагруженности

Детали по степени нагруженности	Пористость материала, %	Предел прочности, % предела прочности беспористого материала	Пластичность и ударная вязкость, % данных свойств беспористых материалов	Плотность порошковых сталей, кг/м ³
Малонагруженные	25–16	30–45	25–35	6000–6600
Умереннонагруженные	15–10	45–65	35–60	6700–7100
Средненагруженные	9–2	65–95	60–90	7200–7700
Тяжелонагруженные	Менее 2	95–100	90–100	Более 7700

Таблица 3.2 – Показатели качества заготовок из конструкционных порошковых материалов

Номер процесса	Операция	Точность размеров		Параметр шероховатости поверхностей, мкм
		высотных	диаметральных	
1	Холодное прессование при уплотнении «по давлению»	IT12 – IT14	IT6 – IT8	Ra 5–0,16
	Спекание	IT13 – IT16	IT8 – IT10	Ra 25–0,8
2	Холодное прессование при уплотнении с ограничителем	IT12	IT8 – IT11	Ra 5–0,16
	Спекание	IT13 – IT14	IT9 – IT13	Ra 25–0,8

3.2 Проектирование порошковых заготовок. Задание 10

Содержание задания:

– ознакомиться с общими требованиями к конструктивным элементам порошковых заготовок;

– изучить конструкторско-технологические особенности горячедеформированных заготовок;

– по варианту индивидуального задания с учётом конструкторско-технологических рекомендаций разработать чертёж порошковой заготовки.

Общие конструктивные требования к порошковым заготовкам сводятся к следующим условиям:

1. Отношение толщины стенок в направлении прессования к максимальному поперечному размеру не должно превышать единицы. Минимальная толщина стенки заготовки цилиндрической формы 1,0–1,2 мм, для заготовок иной формы – 1,5 мм. У более крупных заготовок минимальная толщина стенки вырастает на 0,8 мм на каждые 25 мм длины. Толщина донной части глухих отверстий не менее 2–3 мм.

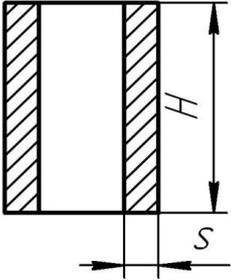
2. Радиусы закруглений внутренних углов сопрягаемых стенок не менее 0,3 мм, наружных – не менее 2,5 мм.

3. Для облегчения выталкивания стенки перпендикулярные к плоскости разъема пресс-формы должны быть конусными, угол конуса 5–10°.

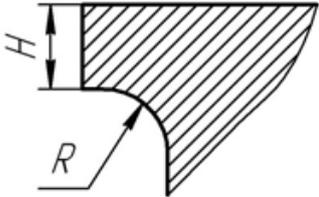
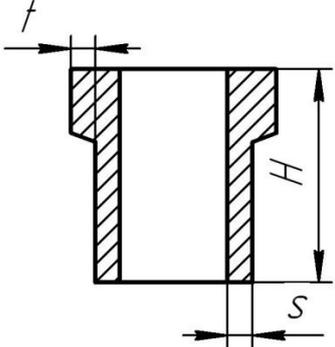
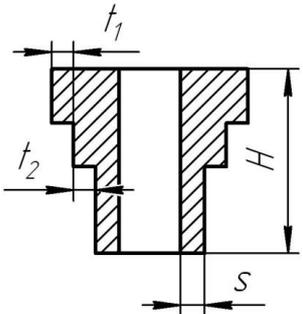
4. Утолщения и фланцы располагать в плоскости, перпендикулярной к направлению прессования и возможно ближе к верхней границе матрицы. Канавки, углубления и выемки выполнять в направлении прессования. Заготовки с узкими пазами могут иметь дефекты.

Требования к конкретным конструктивным элементам приведены в таблице 3.3.

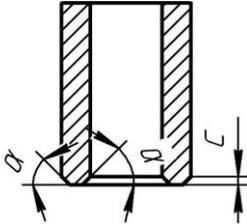
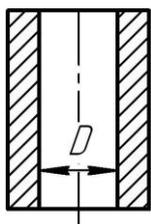
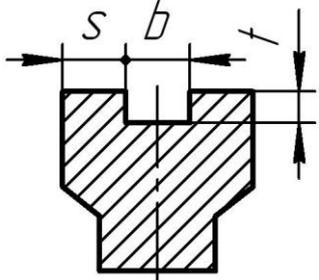
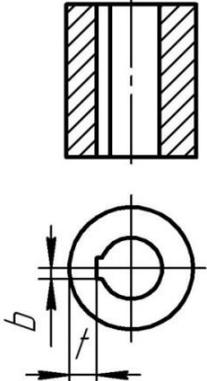
Таблица 3.3 – Требования к конструктивным элементам порошковых изделий

Элемент, тип изделия	Рекомендуемые параметры	Рекомендуемая технология
Стенка изделия типа цилиндра 	$s \geq 0,8 \text{ мм}; H/s \leq 1$ $s \geq 0,8 \text{ мм}; 1 \leq H/s \leq 10$ $s \geq 2 \text{ мм}; H/s > 10$	Формование пористого изделия: односторонним прессованием; двухсторонним прессованием; поперечным прессованием
	$s \geq 2 \text{ мм}; 0,6 \leq H/s < 1$ $s \geq 2 \text{ мм}; 1 \leq H/s < 2$ $s \geq 2 \text{ мм}; H \geq 40 \text{ мм}; H/s \geq 3$	Штамповка высокоплотных изделий из пористых заготовок:

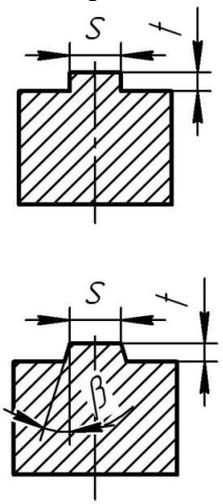
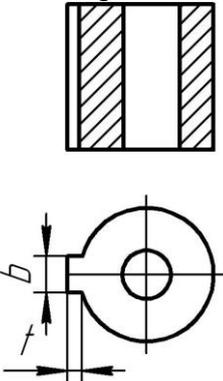
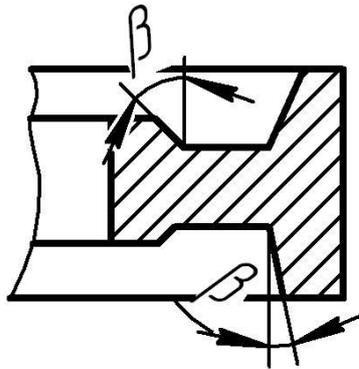
Продолжение таблицы 3.3

		<p>односторонней осадкой; двухсторонней осадкой; поперечным уплотнением</p>
<p>Скругление изделия с переходами по высоте</p> 	<p>$R \geq 0,25$ мм $R = (0,3 \div 0,5) H$ мм</p>	<p>Прессование высокоплотных изделий из пористых заготовок; штамповка пористых заготовок</p>
<p>Бурт изделия с одним переходом по высоте на наружной поверхности</p> 	<p>$t \geq 0,8$ мм $t \leq 3$ мм; $H/s \leq 2$ $t > 3$ мм; $H/s \leq 2$ $t > 3$ мм; $2 < H/s \leq 15$</p>	<p>Двухстороннее прессование высокоплотных изделий из пористых заготовок; штамповка высокоплотных изделий из пористых заготовок: двухсторонней осадкой заготовки без бурта с поперечным течением материала; двухсторонней осадкой заготовки с буртом; двухсторонней осадкой бурта с последующим поперечным уплотнением всей заготовки</p>
<p>Изделия с двумя и более переходами на наружной поверхности</p> 	<p>$t, t_1 \geq 0,8$ мм $t \leq 3$ мм; t_1 – не регламентируется; $H/s \leq 2$ $t > 3$ мм; t_1 – не регламентируется; $H/s \leq 2$ $t > 3$ мм; t_1 – не регламентируется; $2 < H/s \leq 15$</p>	<p>Пористое изделие</p> <p>Двухстороннее прессование пористых изделий</p> <p>Штамповка высокоплотных изделий</p>

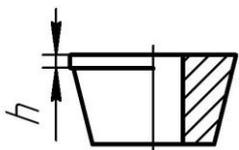
Продолжение таблицы 3.3

<p>Фаска изделия любой формы</p> 	$0 < \alpha < 90^\circ$	<p>Прессование пористых изделий</p>
	$0,15 \text{ мм} \leq c \leq 0,5 \text{ мм};$	<p>Штамповка высокоплотных изделий</p>
<p>Отверстие изделия любой формы</p> 	$D \geq 1 \text{ мм}$	<p>Прессование пористых изделий</p>
	$D \geq 10 \text{ мм}$	<p>Штамповка высокоплотных изделий</p>
<p>Паз изделия любой формы с пазами на торцах</p> 	$s, b \geq 2 \text{ мм};$ t – не регламентируется	<p>Прессование пористых изделий</p>
	$s \geq 2 \text{ мм}; b \geq 5 \text{ мм};$ t – не регламентируется $s \geq 2 \text{ мм}; b \geq 5 \text{ мм};$ $t < 3 \text{ мм}$	<p>Штамповка высокоплотных изделий: осадкой с предварительно выполненным пазом; осадкой пористой заготовки без предварительно выполненного паза</p>
<p>Паз изделия любой формы с пазами на внутренней и наружных поверхностях</p> 	$s \geq 2 \text{ мм};$ b и t – не регламентируется	<p>Прессование пористых заготовок; штамповка осадкой пористой заготовки с предварительно выполненным пазом</p>

Продолжение таблицы 3.3

<p>Выступ изделия любой формы на торце</p> 	$s \geq 2 \text{ мм}; t \geq 0,5 \text{ мм}$	Прессование пористых изделий составным пуансоном
	$s \geq 5 \text{ мм}; t \geq 3 \text{ мм}$	Штамповка высокоплотных изделий осадкой пористой заготовки с предварительно выполненным выступом
	$s \geq 2 \text{ мм}; t \leq 0,5 \text{ мм}; \beta \geq 3^\circ$	Пористое изделие Прессование пористых изделий цельным пуансоном
	$s \geq 3 \text{ мм}; t \leq 3 \text{ мм}; \beta \geq 5^\circ$	Высокоплотное изделие Штамповка осадкой с выдавливанием пористой заготовки без предварительно выполненного выступа
<p>Изделия с выступами на внутренней или наружной боковой поверхностях</p> 	$s \geq 2 \text{ мм};$ t – не регламентируется	Пористое изделие Прессование пористых заготовок
	$b \geq 5 \text{ мм}; t \leq 3 \text{ мм}$	Высокоплотное изделие Штамповка осадкой пористой заготовки с предварительно выполненным выступом
<p>Уклон изделия типа шестерен, шкивов и т. п.</p> 	$\beta \geq 5^\circ$	Пористое изделие
		Прессование
		Высокоплотное изделие
		Штамповка пористой заготовки

Окончание таблицы 3.3

Зуб: изделия типа цилиндрической шестерни	$m \geq 0,5$ мм	Прессование изделий
	$0,5 \leq m \leq 2$ мм	Штамповка осадкой с поперечным течением материала пористой заготовки без предварительно выполненных зубьев
	$m \geq 2$ мм	Штамповка осадкой пористой заготовки с предварительно выполненными зубьями
Рифлёная поверхность: изделия с рифлёной поверхностью 	$\gamma \geq 30^\circ$	Прессование. Штамповка высокоплотных изделий из пористых заготовок с нерифленой поверхностью
Поясок: изделия с конической поверхностью 	$h \geq 1$ мм	Прессование. Штамповка высокоплотных изделий из пористых заготовок

Типовые порошковые заготовки, полученные холодным прессованием, представлены в таблице 3.4.

Конструкторско-технологические особенности горячедеформированных заготовок

При проектировании горячедеформированных заготовок необходимо учитывать:

- предельно возможные размеры и массу заготовок;
- отношение продольных размеров к поперечным;
- наличие специфических конструктивных элементов (радиальных канавок, углублений, выступов, резьбы и т. д.).

Конструкторско-технологические особенности порошковых заготовок, изготавливаемых горячим динамическим прессованием

Минимальные размеры и масса заготовок регламентируются скоростью охлаждения заготовки с момента её извлечения из печи и до начала уплотнения в штампе.

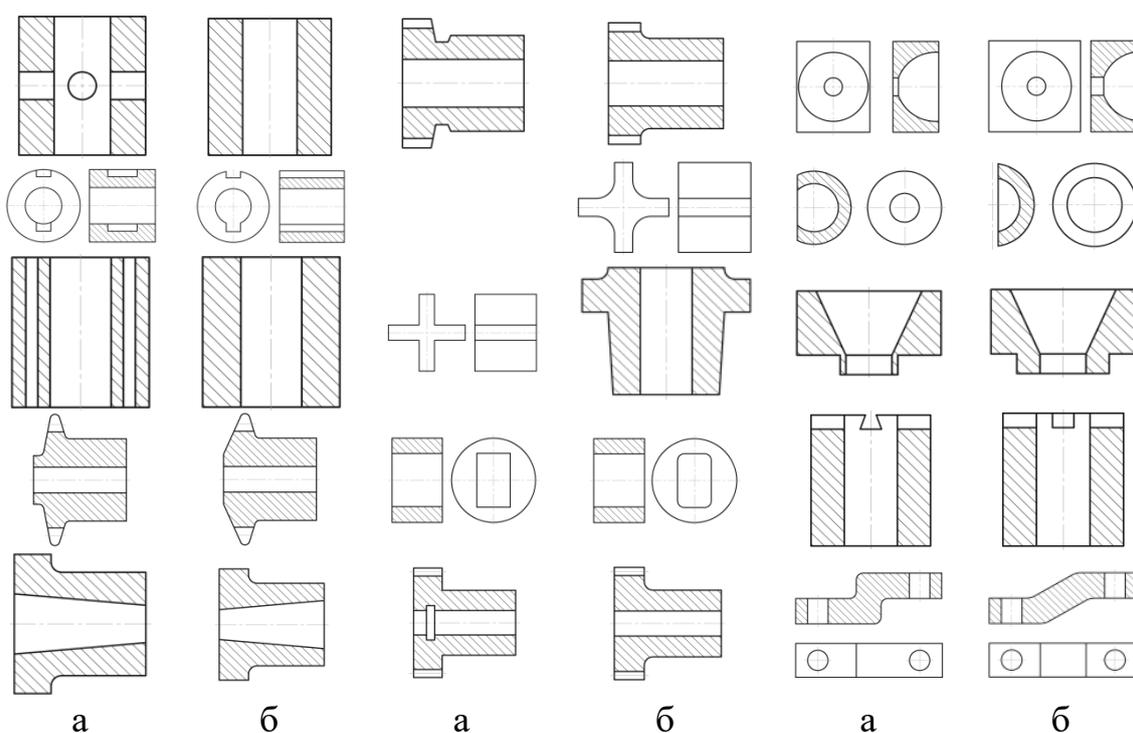


Рисунок 3.1 – Конструктивные варианты горячедеформированных порошковых заготовок:
а – нерекомендуемые; б – рекомендуемые

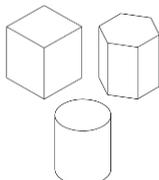
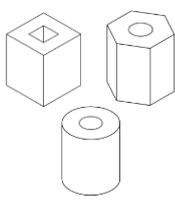
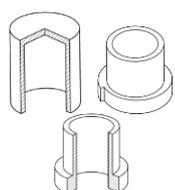
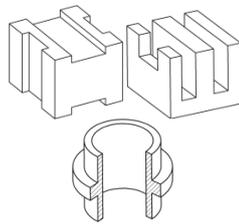
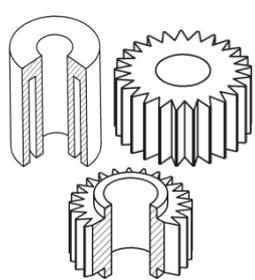
Быстрое охлаждение заготовок приводит к резкому снижению пластичности материала, что ухудшает качество изделия. Технологии горячего динамического прессования позволяют получать заготовки массой не менее 20 г и размерами в плане в пределах 15 мм (табл. 3.5).

Отношение продольных размеров заготовок к поперечным определяет выбор схемы формования, конструкцию штампов. Технологии горячего динамического прессования позволяют изготавливать горячепрессованные порошковые заготовки с отношением продольного (высотного) размера (H) к поперечному (диаметру d или толщине стенки s) в пределах 0,1–0,6 – для заготовок типа пластин, и до 15–20 – для длинномерных изделий.

На заготовках не допускаются:

- сквозные пазы, канавки, углубления, отверстия и другие элементы, не совпадающие с направлением прессования;
- резьбы и обратные конусности;
- продольные сквозные и глухие отверстия малого сечения;
- замкнутые пазы, канавки и другие углубления или выступы в направлении прессования;
- острые углы и места сопряжения поверхностей, не оформленные радиусами или фасками.

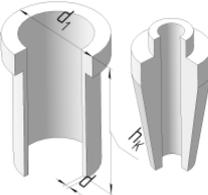
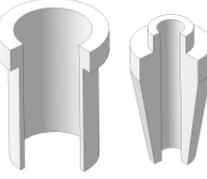
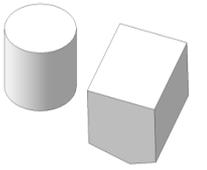
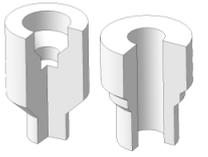
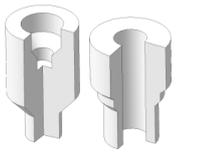
Таблица 3.4 – Типовые заготовки, изготавливаемые холодным прессованием порошков с последующим спеканием

Группа сложности	Характеристика		Отношение высоты заготовки к толщине стенки	Типовые конструкции заготовок
	сечения заготовок по высоте (вдоль оси прессования)	поверхностей, ограничивающих заготовки по высоте		
I	Неизменное сечение, без отверстия	Параллельные плоскости	1...3	
II	То же, с одним или несколькими отверстиями в направлении прессования		До 8	
III			8...10	
IV	Заготовки с наружным или внутренним буртом		До 6	
V			6...8	
VI	Заготовки с несколькими переходами по высоте, без отверстий		–	
VII	Несколько наружных или внутренних переходов при наличии отверстий в направлении прессования	Непараллельные плоскости или криволинейные поверхности, пересекающие оси прессования	–	

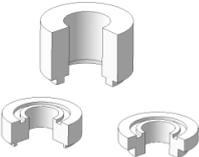
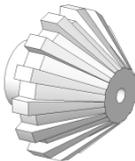
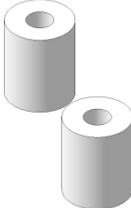
Конструкторско-технологические особенности порошковых заготовок, изготавливаемых горячим динамическим прессованием

Типовые заготовки, изготавливаемые горячим динамическим прессованием, представлены в таблице 3.5.

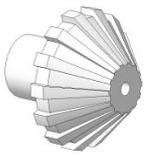
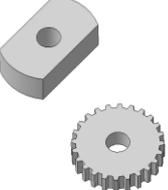
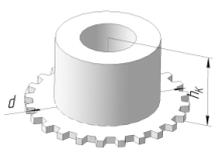
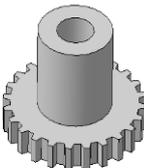
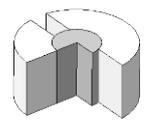
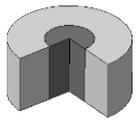
Таблица 3.5 – Типовые заготовки, изготавливаемые методами горячего динамического прессования

Тип деталей	Конфигурация деталей	Степень приближения формы заготовок к форме детали	Конфигурация заготовок	Схема формирования
<p>Длинномерные полые переменного сечения с короткомерной ($0,6 < h_k/d_1 < 1$) или удлинённой ($h_k/d > 5$ и $h_k \geq 40$ мм) частью</p>		<p>По конфигурации полностью соответствует детали; к короткомерной части предъявляются требования, аналогичные предъявляемым к заготовкам деталей группы 1А, а длинномерной группы – 3А</p>		<p>Поперечное динамическое горячее прессование для длинномерного элемента и осадка короткомерной части</p>
<p>Длинномерные сплошные переменного сечения (типа клапанов ДВС, лопаток турбин и т. п.) с короткомерными и длинномерными элементами по высоте</p>		<p>Поперечное сечение соответствует сечению короткомерного элемента с учётом технологического зазора; масса заготовки равна массе детали</p>		<p>Экструзия для формирования длинномерной части осадки заготовки и в конце её оформление короткомерного элемента и всей детали</p>
<p>Сложной формы с тремя и более переходами по высоте</p>		<p>Поперечные сечения всех элементов соответствуют аналогичным сечениям детали с учетом технологического зазора</p>		<p>Двухстороннее прессование всех переходов</p>

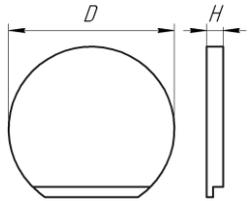
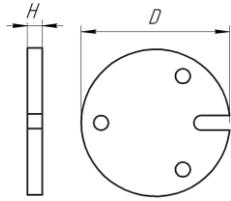
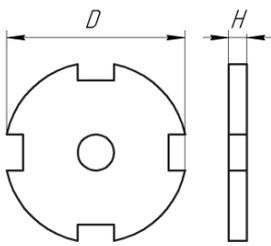
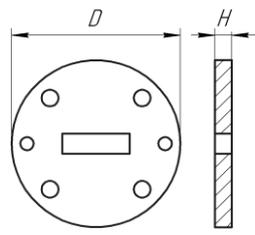
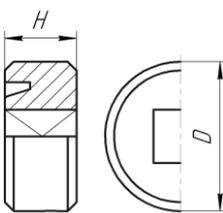
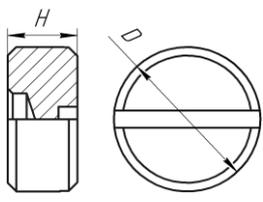
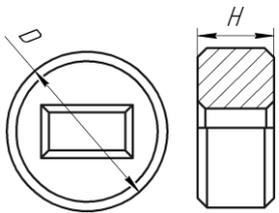
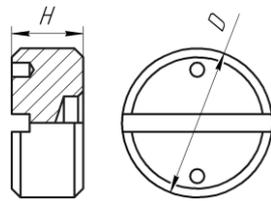
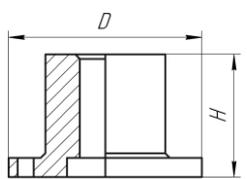
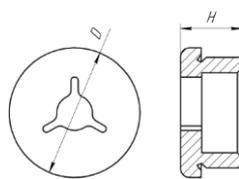
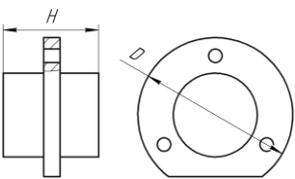
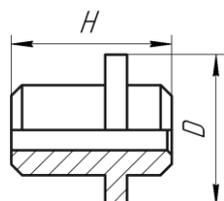
Продолжение таблицы 3.5

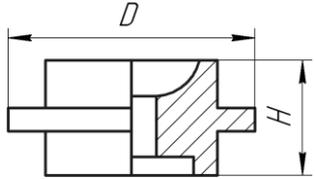
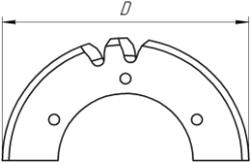
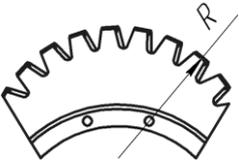
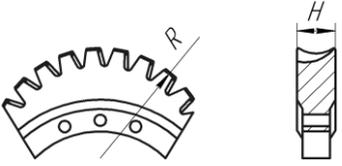
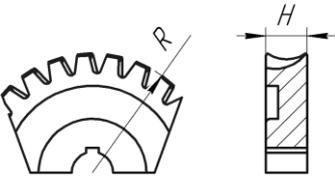
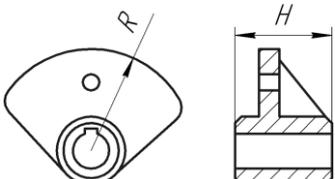
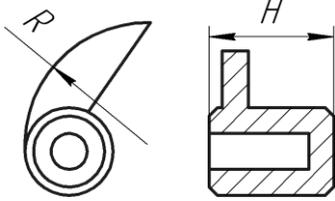
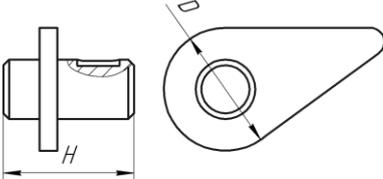
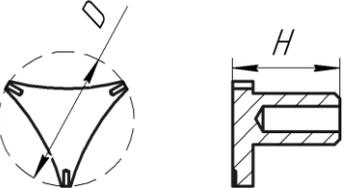
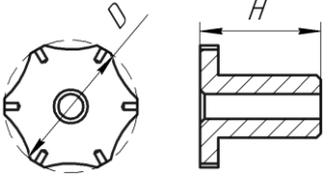
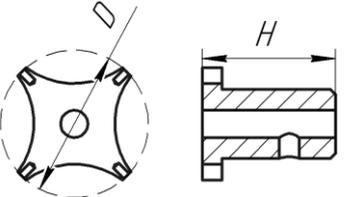
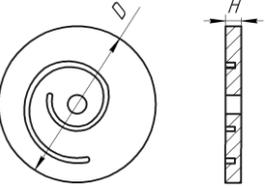
<p>Сложной формы, заготовки которых невозможно получить цельными из-за сложности</p>		<p>Несколько заготовок простой формы, поперечные сечения которых соответствуют аналогичным сечениям детали, с центрирующими элементами в плоскостях разъема</p>		<p>Двухстороннее прессование с осадкой всех элементов заготовок в одной матрице</p>
<p>Конические сателлиты</p>		<p>Полый цилиндр с фаской или сферической поверхностью на одном из его торцов</p>		<p>Одностороннее прессование в разъемных матрицах</p>
<p>Со сферическими криволинейными поверхностями и типа шарниров, шаровых опор и т. п.</p>		<p>Цилиндрическая заготовка с поперечным сечением, меньшим минимального поперечного сечения детали на технологический зазор</p>		<p>Двухстороннее прессование в разъемной матрице</p>
<p>Мелкокомодульные цилиндрические шестерни</p>		<p>Цилиндрическая заготовка с размером поперечного сечения, меньшим диаметра впадин на технологический зазор. То же, но с буртами на торцах</p>		<p>Двухстороннее прессование в разъемной матрице</p>

Окончание таблицы 3.5

<p>Конические шестерни со ступицей</p>		<p>Заготовка без зубьев имеет конфигурацию усечённого конуса с цилиндрической частью, переходящей в цилиндр меньшего диаметра</p>		<p>Одностороннее прессование в разъемных матрицах осадкой заготовки</p>
<p>Шайбы и пластины; $h_k/d \leq 2$</p>		<p>Поперечное сечение соответствует сечению готовой детали; в размере учитывают технологический зазор</p>		<p>Одностороннее прессование плоским пуансоном, не заходящим в рабочую полость матрицы</p>
<p>Шайбы, шестерни, звездочки и т. п.; $0,2 < h_k/d \leq 0,6$</p>		<p>Степень приближения плоского элемента аналогична степени приближения заготовок для деталей группы 6А, а высокого элемента – для деталей групп 1 и 2</p>		<p>Двухстороннее прессование плоскими пуансонами, не заходящими в рабочую полость матрицы</p>
<p>Звездочки и шестерни со ступицей; $h_k/d \leq 0,6$</p>		<p>Определяются степенью сложности деталей, свойствами и химической активностью вводимых в 1 поверхностный слой порошков</p>		<p>Зависит от схемы горячего динамического прессования</p>
<p>Биметаллические с поверхностным слоем требуемого состава</p>	<p>Зависит от степени сложности детали</p> 	<p>Определяется степенью сложности детали</p>		<p>Определяется степенью сложности детали</p>

Варианты к заданию 10

1		2	
3		4	
5		6	
7		8	
9		10	
11		12	

<p>13</p> 	<p>14</p> 
<p>15</p> 	<p>16</p> 
<p>17</p> 	<p>18</p> 
<p>19</p> 	<p>20</p> 
<p>21</p> 	<p>22</p> 
<p>23</p> 	<p>24</p> 

№	<i>D</i>, мм	<i>H</i>, мм	№	<i>D</i>, мм	<i>H</i>, мм
1	75	10	13	50	80
2	80	15	14	40	85
3	80	10	15	90	50
4	75	15	16	90	15
5	85	20	17	95	10
6	85	20	18	95	45
7	50	15	19	95	50
8	85	15	20	95	55
9	85	55	21	100	40
10	90	40	22	100	45
11	90	45	23	100	50
12	45	75	24	80	20

4 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК

4.1 Общие сведения о конструктивных параметрах и технологических особенностях конструкции отливок

Отливки по назначению разделяют на три группы: отливки общего назначения; отливки ответственного назначения и отливки особо ответственного назначения. Конфигурация и размеры отливок общего назначения определяются только конструктивными и технологическими соображениями. Отливки ответственного назначения работают при статических нагрузках, а также в условиях трения скольжения. Отливки особо ответственного назначения работают при циклических и динамических нагрузках.

Выбор наиболее целесообразного технологического процесса изготовления отливки часто затруднен, поскольку одинаковые по размерной точности и качеству заготовки можно получить различными методами. Окончательный выбор выполняется после оценки экономической эффективности различных способов получения отливок. Причем в этом случае необходимо учитывать не только стоимость изготовления отливки, но и стоимость ее последующей обработки (механической, электрофизической, термической и др.). Стоимость литой заготовки определяется её конструкцией, от неё зависит выбор типа модельной оснастки. Конструктивное исполнение деталей отличается разнообразием форм, однако наиболее важным свойством любой детали является её технологичность, под которой понимают совокупность свойств конструкции изделия, определяющих её приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, техническом обслуживании и ремонте для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ.

Отработка конструкции изделия на технологичность осуществляется при взаимодействии конструкторов и технологов на всех этапах, включающих разработку конструкции, процессов заготовительного производства, обработки, сборки и контроля.

Выбор того или иного вида литья зависит от материала детали, точности и шероховатости поверхностей, получаемых при изготовлении заготовки данным методом, конфигурации, размера и массы детали, типа производства.

Для всех трех групп важнейшими характеристиками являются точность и химический состав, а для второй и третьей групп дополнительной характеристикой являются механические свойства.

Независимо от метода изготовления отливки при определении её конфигурации и размеров, а также при оценке технологичности следует учитывать следующие общие требования:

- форма и размеры заготовки должны быть наиболее близкими к готовой детали;

- внутренние и внешние контуры отливки должны иметь конфигурацию, состоящую из сочетаний правильных геометрических фигур, что упростит модельную и литевную оснастки;

- поверхности, обращённые к поверхности разъёма формовочной оснастки, должны иметь конструктивные (литейные) уклоны;

- при возможности соблюдения эксплуатационных требований к детали допускается разделять крупные сложные отливки на несколько меньших простой формы;

- для деталей, подвергающихся быстрому износу, заготовки следует проектировать как отдельные отливки;

- по возможности использовать типовые отливки, изготавливаемые на унифицированной оснастке;

- выбор материала должен предусматривать применение производительных методов литья, высокую производительность процесса, обеспечивать уменьшение припусков на обработку;

- отливки должны иметь плавную обтекаемую конфигурацию без острых углов, изломов, с плавным переходом от одних сечений к другим;

- толщина стенки отливки должна быть минимально допустимой для выбранного метода литья, обеспечивая при этом необходимую прочность заготовки и хорошее заполнение формы;

- отливке следует придавать такую форму, чтобы жидкий металл вытеснял воздух и газы, образующиеся в результате нагрева стенок формы и выделяющихся из металла;

- использовать типовые сопряжения стенок литых заготовок;

- для устранения напряжений, повышения качества отливок использовать метод направленного и одновременного затвердевания, устранять местные скопления металла.

Кроме общих принципов при оценке технологичности конкретной отливки следует учитывать *технологические особенности* её конструкции, которые связаны с конкретным способом изготовления отливки.

Поскольку среди используемых способов получения отливок литьё в песчаные формы находит наибольшее применение, для таких отливок следует стремиться к максимальному уменьшению общих габаритов, выступающих частей, устранению тонкостенных ребер, глубоких пазов, впадин, поднутрений, что обеспечит минимальное количество разъёмов модели, минимальное количество стержней,

устранит необходимость применения отъемных частей модели. Технологичность внешних и внутренних очертаний отливки определяют по правилу световых теней. Сущность этого правила заключается в том, что при освещении заготовки параллельными лучами света, направленными перпендикулярно плоскости разъема формы и стержневого ящика, не должно быть теневых участков на отливке (рис. 4.1 а–б). Теневые участки возникают при неправильном расположении отдельных элементов отливки, к числу которых относят выемки, рёбра, бобышки, приливы. Отливки без теневых участков имеют более высокое качество и менее трудоёмки в изготовлении, не требуют применения отъёмных частей в модельной оснастке, использования стержней. Однако при устранении теневых участков на отливке необходимо учитывать такой важный фактор технологичности конструкции, как соблюдение равнотолщинности стенок на различных её участках. В противном случае вероятно появление тепловых узлов, в которых металл охлаждается в течение более длительного промежутка времени, что приводит к появлению остаточных напряжений и появлению усадочных дефектов.

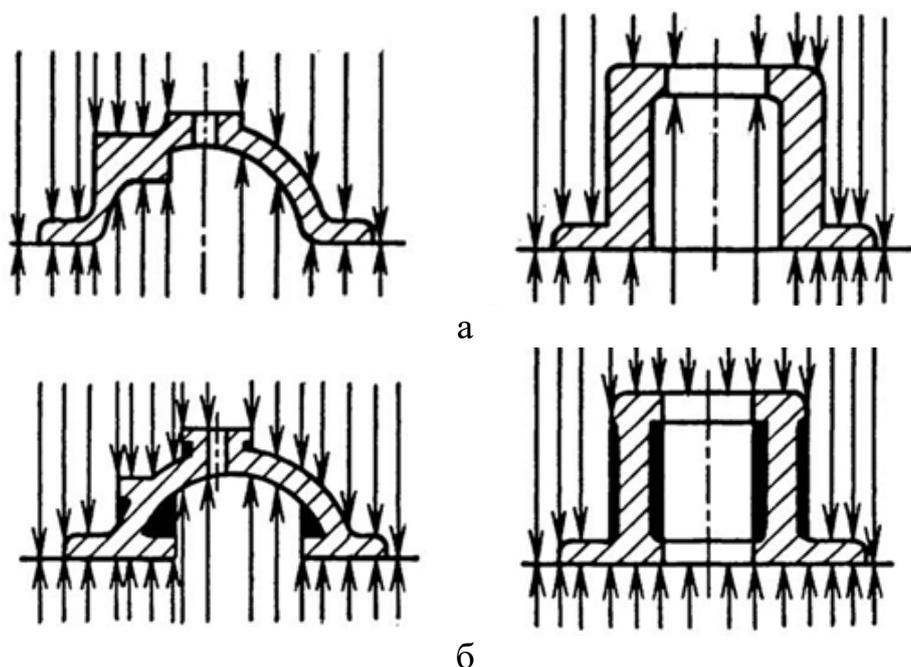


Рисунок 4.1 – Оценка технологичности внутренних и внешних очертаний отливки:

а – технологичная отливка; б – нетехнологичная отливка

Конфигурация отливки должна обеспечивать её изготовление в форме с одной, желательно плоской, поверхностью разъема, поскольку каждый дополнительный разъем сложной формы усложняет модельную

оснастку, требует применения дополнительной опоки, увеличивает время на формовку, отделку формы и её сборку, отливка имеет меньшую размерную точность и погрешности геометрии, что вызывает проблемы при дальнейшей обработке. Целесообразно в некоторых случаях изменить конфигурацию отливки с тем, чтобы значительно уменьшить стоимость изготовления заготовки.

Для достижения точности размеров отливки и уменьшения вероятности смещения одной части литой заготовки относительно другой формовку литейной формы рекомендуется выполнять по неразъёмной модели.

Важным этапом на пути проектирования технологичной отливки является правильный выбор плоскости разъёма формы, в которой будет формироваться заготовка. Положение отливки в форме во время заливки металла оказывает существенное влияние на её качество.

При оценке положения отливки в форме и выборе плоскости разъёма следует руководствоваться следующими правилами:

- ответственные части отливки, к которым предъявляются высокие требования по точности и качеству, располагают в нижней части формы, поскольку в верхней части скапливаются неметаллические включения и газовые раковины;

- при невозможности выполнения приведенного выше требования ответственные поверхности отливки располагают вертикально или наклонно, причём целесообразно в отливках горизонтальные поверхности заменять наклонными, что устраняет газовые и неметаллические включения;

- плоскость разъёма не должна пересекать поверхности, служащие базами на первой операции механической обработки;

- если обрабатываемые поверхности обращены кверху, следует обеспечить такие условия при заливке и кристаллизации, при которых возможные литейные пороки будут образовываться в частях отливки, удаляемых после её получения (прибылях, выпорах, припусках на механическую обработку и технологических напусках);

- от положения при заливке зависят разъём формы, величина припусков на механическую обработку, способ установки стержней в форме;

- по возможности упрощать конфигурацию полостей в отливках и соответственно стержней, используемых для формообразования этих полостей, чтобы можно было обеспечить надёжную их установку, достаточную жёсткость, простоту отвода газов, возможность лёгкого удаления стержней из отливки;

- все поверхности отливки должны быть доступны для обрубки и зачистки заливо и заусенцев;

– следует избегать в отливках небольших несквозных полостей для устранения полного спекания стержня, используемого для формования данной полости;

– целесообразно предусматривать такую конфигурацию отливки, при которой заливки образуются на обрабатываемых поверхностях, поскольку их можно удалить со слоем припуска;

– отливки цилиндрической формы целесообразно отливать в вертикальном положении.

При конструировании отливки необходимо учитывать процесс заполнения формы жидким металлом для получения отливки без усадочных раковин, пористости, опасности возникновения напряжений, приводящих к появлению трещин. Хорошее заполнение формы металлом определяется допустимой наименьшей толщиной стенки отливки, которая зависит от применяемого литейного сплава, температуры его заливки, конфигурации и размеров отливки, состояния используемой формы.

При анализе конструкции детали определяют минимальную толщину стенки будущей отливки и оценивают возможность её получения с учетом жидкотекучести сплава, из которого выполняют заготовку. Главным фактором, определяющим уровень жидкотекучести, являются температура плавления и кристаллизации, особенности кристаллизации, вязкость. Влияние литейной формы связано главным образом со смачиваемостью формовочного материала жидким металлом, с условиями физико-химического воздействия на поверхности раздела металла и формы. На жидкотекучесть влияют также условия заливки, температура перегрева металла, наличие в металле посторонних включений, условия подвода металла к форме.

Численно значение минимальной толщины стенки отливок из различных сплавов определяют по данным, приведенным в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Минимальная толщина стенки отливок при литье в песчаные формы

Материал сплава	Минимальная толщина стенки, мм		
	мелких	средних	крупных
Серый чугун	3–4	8–10	12–15
Ковкий чугун	3–4	6–8	–
Сталь	5–7	10–12	15–20
Бронза, латунь	3–5	5–8	–
Алюминиевые сплавы	3–5	5–8	–
Магниевого сплавы	3–5	5–7	–

К мелким отливкам из чугуна и углеродистой стали относятся отливки массой до 2 кг, к средним – массой от 2 до 50 кг, крупными считаются отливки массой свыше 50 кг. Мелкими отливками из

низколегированной стали являются отливки массой до 3 кг, средними – массой от 3 до 70 кг, крупными – массой свыше 70 кг. Мелкими отливками из бронзы и латуни считаются отливки массой до 4 кг, средними – массой свыше 4 до 50 кг, крупными – массой свыше 50 кг. Мелкими отливками из алюминиевых сплавов считаются отливки массой до 6 кг, средними – массой свыше 6 до 25 кг, крупными – массой свыше 25 кг.

При выборе минимальной толщины стенки отливки необходимо также учитывать, что для отливок из серых чугунов во избежание отбела стенки выполняют не тоньше 6 мм, для отливок из ковких чугунов – не менее 4 мм. Стальные отливки, работающие под нагрузкой и давлением, не должны иметь стенки толщиной меньше 7–10 мм.

При выборе толщины стенки необходимо учитывать сложность отливки. По сложности отливки из черных металлов делят на *группы*.

К *первой группе* относятся отливки преимущественно с плоскими взаимно-перпендикулярными и цилиндрическими поверхностями. Примерами таких отливок служат колёса, маховики, рычаги, диски, кольца и т. д.

Во *вторую группу* включены полые отливки, имеющие кроме простых и криволинейные поверхности, сопрягающиеся под острыми или тупыми углами. К типовым отливкам этой группы относятся литые детали арматуры, криволинейные рычаги, простые крышки, подставки, плиты, корпуса подшипников и другие детали.

Третью группу составляют отливки с наклонными поверхностями, сопрягающимися под любыми углами, и содержащие изогнутые полости сложной формы, бобышки, приливы, рёбра. Представительными деталями группы являются корпуса, крышки, основания для редукторов, крупные зубчатые колеса, корпуса станин, простые кожухи турбин.

Четвёртую группу образуют отливки с различного вида поверхностями и отверстиями, которые оформляются сложными стержнями. К таким отливкам относятся станочные отливки, составные кожухи сложных турбин, опоры валковых клетей прокатных станов, станины молотов и прессов и т. д.

К *пятой группе* относятся отливки, которые формуется непосредственно по модели и не содержат сложных стержней либо полость в отливке оформляется одним простым стержнем. К таким отливкам относятся картеры, зубчатые и приводные колёса, гребные винты, сложные станины станков, плиты и т. д.

4.2 Определение общего припуска на обработку

Для назначения припусков, допусков, разработки технических требований нормы точности отливки устанавливаются в следующей последовательности: класс размерной точности, степень коробления элементов отливок; степень точности поверхностей; класс точности массы.

В соответствии с ГОСТ 26645–85 установлены 22 класса точности размеров и масс отливок из металлов и сплавов (1, 2, 3т, 3, 4, 5т, 5, 6, 7т, 7, 8, 9т, 9, 10, 11т, 11, 12, 13т, 13, 14, 15, 16), 11 степеней коробления элементов отливок (1–11) и 22 степени точности поверхностей отливок (1–22).

Класс размерной точности отливок определяют в зависимости от выбранного технологического способа литья, наибольшего габаритного размера отливки для заданного типа сплава по таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Классы размерной точности отливок

Технологический процесс литья	Наибольший габаритный размер отливки, мм	Тип сплава			
		1	2	3	4
		Класс размерной точности отливки			
Литьё в песчано-глинистые сырые формы из низко-влажных (до 2,8 %) высокопрочных (более 160 кПа или 1,6 кг/см ²) смесей, с высоким и однородным уплотнением до твёрдости не ниже 90 единиц	До 100	5–10	6–11т	7т–12	7–12
	Св. 100 » 250	6–11т	7т–11	7–12	8–13т
	» 250 » 630	7т–11	7–12	8–13т	9т–13
	» 630 » 1600	7–12	8–13т	9т–13	9–13
	» 1600 » 4000	8–13т	9т–13	9–13	10–14
Литьё в песчано-глинистые сырые формы из смесей с влажностью от 2,8 до 3,5 % и прочностью от 120 до 160 кПа (от 1,2 до 1,6 кг/см ²), со средним уровнем уплотнения до твёрдости не ниже 80 единиц	До 100	6–11т	7т–11	7–12	8–13т
	Св. 100 » 250	7т–11	7–12	8–13т	9т–13
	» 250 » 630	7–12	8–13т	9т–13	9–13
	» 630 » 1600	8–13т	9т–13	9–13	10–14
	» 1600 » 4000	9т–13	9–13	10–14	11т–14
Литьё в песчано-глинистые сырые формы из высоковлажных (более 4,5 %) низкопрочных (до 60	До 100	7–12	8–13т	9т–13	9–13
	Св. 100 » 250	8–13т	9т–13	9–13	10–14
	» 250 » 630	9т–13	9–13	10–14	11т–14
	» 630 » 1600	9–13	10–14	11т–14	11–15
	» 1600 » 4000	10–14	11т–14	11–15	12–15

Окончание таблицы 4.2

кПа или 0,6 кг/см ²) смесей с низким уровнем уплотнения до твёрдости ниже 70 единиц	» 4000 » 10000 » 10000	11т-14 11-15	11-15 12-15	12-15 13т-16	13т-16 13-16
---	---------------------------	-----------------	----------------	-----------------	-----------------

Примечание. Меньшие значения из приведенных диапазонов относятся к простым отливкам и условиям массового автоматизированного производства, бóльшие – к сложным отливкам единичного и мелкосерийного производства, средние – к отливкам средней сложности и условиям механизированного серийного производства.

1 – Цветные легкие, нетермообрабатываемые сплавы.

2 – Нетермообрабатываемые чёрные и цветные тугоплавкие сплавы и термообрабатываемые цветные лёгкие сплавы.

3 – Термообрабатываемые чугунные и цветные тугоплавкие сплавы.

4 – Термообрабатываемые стальные сплавы.

Степень коробления элементов отливок определяют по таблице 4.3 в зависимости от отношения наименьшего размера элемента отливки к наибольшему (толщины или высоты к длине элемента отливки) для разовых (или многократных) форм.

Таблица 4.3 – Степень коробления элементов отливок

Отношение наименьшего размера элемента отливки к наибольшему (толщины или высоты к длине элемента отливки)	Степень коробления элемента отливки			
	Многократные формы		Разовые формы	
	Нетермо- обрабаты- ваемые отливки	Термообра- ботанные отливки после правки	Нетермо- обрабатываемые отливки	Термообра- ботанные отливки после правки
Св. 0,200	1-4	2-5	3-6	4-7
» 0,100 до 0,200	2-5	3-6	4-7	5-8
» 0,050 » 0,100	3-6	4-7	5-8	6-9
» 0,025 » 0,050	4-7	5-8	6-9	7-10
» 0,055	5-8	6-9	7-10	8-11

Примечание: 1. Меньшие значения из диапазонов степеней коробления следует применять к простым отливкам из легких сплавов, бóльшие значения – к сложным отливкам из черных сплавов.

2. Степень коробления отливки, указываемую на чертеже, следует принимать по её элементу с наибольшей степенью коробления.

Степень точности поверхностей отливок определяют по данным таблицы 4.4 для заданного способа литья, типа сплава и наибольшего габаритного размера отливки.

Таблица 4.4 – Степени точности поверхностей отливок

Технологический процесс литья	Наибольший габаритный размер отливки, мм	Тип сплава			
		1	2	3	4
		Класс размерной точности отливки			
Литьё в песчано-глинистые сырые формы из низковлажных (до 2,8 %) высокопрочных (более 160 кПа или 1,6 кг/см ²) смесей с высоким и однородным уплотнением до твёрдости не ниже 90 единиц	До 100	7–14	8–15	9–16	10–17
	Св. 100 » 250	8–15	9–16	10–17	11–18
	» 250 » 630	9–16	10–17	11–18	12–19
	» 630 » 1600	10–17	11–18	12–19	13–19
	» 1600 » 4000	11–18	12–19	13–19	14–20
Литьё в песчано-глинистые сырые формы из смесей с влажностью от 2,8 до 3,5 % и прочностью от 120 до 160 кПа (от 1,2 до 1,6 кг/см ²) со средним уровнем уплотнения до твёрдости не ниже 80 единиц	До 100	8–15	9–16	10–17	11–18
	Св. 100 » 250	9–16	10–17	11–18	12–19
	» 250 » 630	10–17	11–18	12–19	13–19
	» 630 » 1600	11–18	12–19	13–19	14–20
	» 1600 » 4000	12–19	13–19	14–20	15–20
Литьё в песчано-глинистые сырые формы из высоковлажных (выше 4,5%) и низкопрочных (до 60 кПа или 0,6 кгс/см ²) смесей с низким уровнем уплотнения до твёрдости ниже 70 единиц	До 100	10–17	11–18	12–19	13–19
	Св. 100 » 250	11–18	12–19	13–19	14–20
	» 250 » 630	12–19	13–19	14–20	15–20
	» 630 » 1600	13–19	14–20	15–20	16–21
	» 1600 » 4000	15–20	15–20	16–21	17–21
» 4000 » 10000	14–20	16–21	17–21	18–22	
» 10000	16–21	17–21	18–22	19–22	

Примечание. Меньшие из значений диапазонов степеней точности поверхностей отливок относятся к простым отливкам и условиям массового автоматизированного производства, бóльшие – к сложным отливкам единичного и мелкосерийного производства, средние – к отливкам средней сложности и условиям механизированного серийного производства.

1 – Цветные легкие, нетермообрабатываемые сплавы

2 – Нетермообрабатываемые чёрные и цветные тугоплавкие сплавы и термообрабатываемые цветные легкие сплавы

3 – Термообрабатываемые чугунные и цветные тугоплавкие сплавы

4 – Термообрабатываемые стальные сплавы

Класс точности массы отливок назначают в соответствии с данными таблицы 4.5.

Таблица 4.5 – Классы точности массы отливок

Технологический процесс литья	Наибольший габаритный размер отливки, мм	Тип сплава			
		1	2	3	4
		Класс размерной точности отливки			
Литьё в песчано-глинистые сырые формы из низковлажных (до 2,8 %), высокопрочных (более 160 кПа или 1,6 кг/см ²) смесей, с высоким и однородным уплотнением до твёрдости, не ниже 90 единиц	До 1,0	4–11	5Т–12	5–13Т	6–13
	Св. 1,0 » 10	5Т–12	5–13Т	6–13	7Т–14
	» 10 » 100	5–13Т	6–13	7Т–14	7–15
	» 100 » 1000	6–13	7Т–14	7–15	8–15
	» 1000 » 10000	7Т–14	7–15	8–15	9Т–16
	» 10000 » 100000	7–15	8–15	9Т–16	9–16
Литьё в песчано-глинистые сырые формы из смесей с влажностью от 2,8 до 3,5 % и прочностью от 120 до 160 кПа (от 1,2–1,6 кг/см ²), со средним уровнем уплотнения до твёрдости не ниже 80 единиц	До 1,0	5Т–12	5–13Т	6–13	7Т–14
	Св. 1,0 » 10	5–13Т	6–13	7Т–14	7–15
	» 10 » 100	6–13	7Т–14	7–15	8–15
	» 100 » 1000	7Т–14	7–15	8–15	9Т–16
	» 1000 » 10000	7–15	8–15	9Т–16	9–16
	» 10000 » 100000	8–15	9Т–16	9–16	10–16
Литьё в песчано-глинистые сырые формы из высоковлажных (более 4,5 %) низкопрочных (до 60 кПа или 0,6 кг/см ²) смесей с низким уровнем уплотнения до твёрдости не ниже 70 единиц	До 1,0	6–13	7Т–14	7–15	8–15
	Св. 1,0 » 10	7Т–14	7–15	8–15	9Т–16
	» 10 » 100	7–15	8–15	9Т–16	9–16
	» 100 » 1000	8–15	9Т–16	9–16	10–16
	» 1000 » 10000	9Т–16	9–16	10–16	11Т–16
	» 10000 » 100000	9–16	10–16	11Т–16	11–16
	» 100000	10–16	11Т–16	11–16	12–16

Примечание. В таблице указаны диапазоны классов точности массы отливок, меньшие из значений которых относятся к простым компактным отливкам и условиям массового автоматизированного производства, бóльшие – к сложным крупногабаритным отливкам единичного и мелкосерийного производства, средние – к отливкам средней сложности и условиям механизированного серийного производства.

1 – Цветные легкие, нетермообрабатываемые сплавы.

2 – Нетермообрабатываемые чёрные и цветные тугоплавкие сплавы и термообрабатываемые цветные легкие сплавы.

3 – Термообрабатываемые чугунные и цветные тугоплавкие сплавы.

4 – Термообрабатываемые стальные сплавы.

Допуск смещения отливки по плоскости разъёма устанавливают по таблице 4.6 на уровне класса размерной точности отливки по номинальному размеру наиболее тонкой из стенок отливки, выходящих на разъем или пересекающих его.

При наличии стержней, выходящих на плоскость разъёма, допуск смещения, вызванный перекосом стержня, устанавливают в диаметральном выражении по таблице 4.6 на 1–2 класса точнее класса размерной точности отливки, по номинальному размеру наиболее тонкой из стенок отливки, формируемых с участием стержня.

Общий припуск находят по общему допуску элемента поверхности отливки для заданного вида механической обработки и выбранного ряда припусков.

Общий допуск определяют на размеры от обрабатываемой поверхности до базы обработки, при этом размеров отливки, изменяемых обработкой, определяют по номинальным размерам детали.

Допуски размеров, *образованных одной частью литейной формы* или одним стержнем, устанавливают на *1-2 класса точнее*. Допуски размеров, образованных тремя и более частями литейной формы, несколькими стержнями или подвижными элементами формы, а также допуски толщины стенок, *образованных двумя и более частями формы* или формой и стержнем, устанавливают на *1-2 класса грубее* (табл. 4.6).

Таблица 4.6 – Допуски линейных размеров отливок

Интервал номинальных размеров, мм	Допуски размеров отливок, мм, не более, для классов точности											
	1	2	3т	3	4	5т	5	6	7т	7	8	
До 4	0,06	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	
Св. 4 » 6	0,07	0,09	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	
» 6 » 10	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	
» 10 » 16	0,09	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	
» 16 » 25	0,10	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	
» 25 » 40	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,10	
» 40 » 63	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	
» 63 » 100	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,10	1,40	
» 100 » 160	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60	
» 160 » 250	–	–	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,10	1,40	1,80	
» 250 » 400	–	–	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	
» 400 » 630	–	–	–	–	0,56	0,70	0,90	1,10	1,40	1,80	2,20	
» 630 » 1000	–	–	–	–	–	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	2,40	
» 1000 » 1600	–	–	–	–	–	–	–	1,40	1,80	2,20	2,80	
» 1600 » 2500	–	–	–	–	–	–	–	–	2,00	2,40	3,20	
» 2500 » 4000	–	–	–	–	–	–	–	–	–	3,20	3,60	
» 4000 » 6300	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
» 6300 » 10000	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
» 10000	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	

Окончание таблицы 4.6

Интервал номинальных размеров, мм	Допуски размеров отливок, мм, не более, для классов точности											
	9г	9	10	11г	11	12	13г	13	14	15	16	
До 4	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	—	—	—	—	—	—	—
Св. 4 » 6	0,9	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	—	—	—	—	—	—
» 6 » 10	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	—	—	—	—
» 10 » 16	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	—	—	—
» 16 » 25	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	—
» 25 » 40	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14,0	—
» 40 » 63	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	—
» 63 » 100	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14,0	18,0	—
» 100 » 160	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	—
» 160 » 250	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14,0	18,0	22,0	—
» 250 » 400	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	—
» 400 » 630	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14,0	18,0	22,0	28,0	—
» 630 » 1000	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0	—
» 1000 » 1600	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14,0	18,0	22,0	28,0	36,0	—
» 1600 » 2500	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0	40,0	—
» 2500 » 4000	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14,0	18,0	22,0	28,0	36,0	44,0	—
» 4000 » 6300	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0	40,0	50,0	—
» 6300 » 10000	—	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0	40,0	50,0	64,0	—
» 10000	—	—	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0	40,0	50,0	64,0	80,0	—

Допуски размеров отливок находят в зависимости от классов точности по таблице 4.6. Затем по таблице 4.7 находят величину допуска формы и расположения элементов отливки (отклонения от прямолинейности, плоскостности, параллельности, перпендикулярности, заданного профиля) в зависимости от степени коробления.

Таблица 4.7 – Допуск формы и расположения элементов отливки

Номинальный размер нормируемого участка отливки, мм	Допуск формы и расположения элементов отливки, мм, не более, для степеней коробления элементов отливки										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
До 125	0,12	0,16	0,2	0,24	0,32	0,4	0,5	0,64	0,8	1,0	1,2
Св. 125 » 160	0,16	0,2	0,24	0,32	0,4	0,5	0,64	0,8	1,0	1,2	1,6
» 160 » 200	0,2	0,24	0,32	0,4	0,5	0,64	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0
» 200 » 250	0,24	0,32	0,4	0,5	0,64	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4
» 250 » 315	0,32	0,4	0,5	0,64	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2
» 315 » 400	0,4	0,5	0,64	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0
» 400 » 500	0,5	0,64	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0
» 500 » 630	0,64	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4
» 630 » 800	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0
» 800 » 1000	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0
» 1000 » 1200	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0
» 1200 » 1600	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0

Окончание таблицы 4.7

» 1600 » 2000	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0
» 2000 » 2500	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0
» 2500 » 3150	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0
» 3150 » 4000	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0	40,0
» 4000 » 5000	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0	40,0	50,0
» 5000 » 6300	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0	40,0	50,0	64,0
» 6300 » 8000	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0	40,0	50,0	64,0	80,0
» 8000 » 10000	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0	40,0	50,0	64,0	80,0	–
» 10000	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0	40,0	50,0	64,0	80,0	–	–

В таблице 4.7 за номинальный размер нормируемого участка следует принимать наибольший из размеров нормируемого участка элемента отливки, для которого регламентируются отклонения формы и расположения поверхности. Номинальный размер отливки следует принимать равным номинальному размеру детали – для необрабатываемых поверхностей и сумме среднего размера детали и общего припуска на обработку – для обрабатываемых поверхностей. При определении номинальных размеров отливок учитывают технологические напуски.

По найденному допуску на размер и величине допуска формы и расположения элементов отливки по таблице 4.8 определяют величину общего допуска для этого элемента отливки.

Таблица 4.8 – Общие допуски элементов отливок, мм

Допуск размера от поверхности до базы	Допуск формы и расположения поверхности		Общий допуск элемента отливки, не более
До 0,01	До 0,01	До 0,01	0,02
	Св. 0,01	« 0,02	0,03
Св. 0,01 до 0,02	До 0,01	До 0,01	0,02
	Св. 0,01	« 0,02	0,03
	« 0,02	« 0,03	0,04
	« 0,03	« 0,04	0,05
Св. 0,02 до 0,03	До 0,01	До 0,01	0,03
	Св. 0,01	« 0,02	0,04
	« 0,02	« 0,03	0,05
	« 0,03	« 0,04	0,06
	« 0,04	« 0,05	0,07
	« 0,05	« 0,06	0,08
Св. 0,03 до 0,04	До 0,01	До 0,01	0,04
	Св. 0,01	« 0,03	0,05
	« 0,03	« 0,04	0,06
	« 0,04	« 0,05	0,07
	« 0,05	« 0,06	0,08
	« 0,06	« 0,08	0,11
Св. 0,04 до 0,05	До 0,01	До 0,01	0,05
	Св. 0,01	« 0,03	0,06
	« 0,03	« 0,04	0,07
	« 0,04	« 0,05	0,08
	« 0,05	« 0,06	0,09

Продолжение таблицы 4.8

	« 0,06 « 0,08	« 0,08 « 0,10	0,11 0,14
Св. 0,05 до 0,06	Св. 0,02 « 0,03 « 0,04 « 0,05 « 0,06 « 0,08 « 0,10	До 0,02 « 0,03 « 0,04 « 0,05 « 0,06 « 0,08 « 0,10 « 0,12	0,06 0,07 0,08 0,09 0,10 0,12 0,14 0,16
Св. 0,06 до 0,08	Св. 0,02 « 0,04 « 0,05 « 0,06 « 0,08 « 0,10 « 0,12	До 0,02 « 0,04 « 0,05 « 0,06 « 0,08 « 0,10 « 0,12 « 0,16	0,08 0,09 0,10 0,11 0,14 0,16 0,18 0,22
Св. 0,08 до 0,10	Св. 0,02 « 0,04 « 0,06 « 0,08 « 0,10 « 0,12 « 0,16	До 0,02 « 0,04 « 0,06 « 0,08 « 0,10 « 0,12 « 0,16 « 0,20	0,10 0,11 0,12 0,14 0,16 0,18 0,22 0,28
Св. 0,10 до 0,12	Св. 0,02 « 0,06 « 0,08 « 0,10 « 0,12 « 0,16 « 0,20	До 0,02 « 0,06 « 0,08 « 0,10 « 0,12 « 0,16 « 0,20 « 0,24	0,12 0,14 0,16 0,18 0,20 0,24 0,28 0,32
Св. 0,12 до 0,16	Св. 0,03 « 0,06 « 0,10 « 0,12 « 0,16 « 0,20 « 0,24	До 0,03 « 0,06 « 0,10 « 0,12 « 0,16 « 0,20 « 0,24 « 0,32	0,16 0,18 0,20 0,22 0,32 0,36 0,28 0,44
Св. 0,16 до 0,20	Св. 0,03 « 0,08 « 0,12 « 0,16 « 0,20 « 0,24 « 0,32	До 0,03 « 0,08 « 0,12 « 0,16 « 0,20 « 0,24 « 0,32 « 0,40	0,20 0,22 0,24 0,28 0,32 0,36 0,44 0,56
Св. 0,20 до 0,24	Св. 0,06 « 0,12	До 0,06 « 0,12 « 0,16	0,24 0,28 0,32

Продолжение таблицы 4.8

	« 0,16 « 0,20 « 0,24 « 0,32 « 0,40	« 0,20 « 0,24 « 0,32 « 0,40 « 0,48	0,36 0,40 0,50 0,56 0,64
Св. 0,24 до 0,32	Св. 0,06 « 0,12 « 0,20 « 0,24 « 0,32 « 0,40 « 0,50	До 0,06 « 0,12 « 0,20 « 0,24 « 0,32 « 0,40 « 0,50 « 0,64	0,32 0,36 0,40 0,44 0,50 0,56 0,70 0,90
Св. 0,32 до 0,40	Св. 0,08 « 0,16 « 0,24 « 0,32 « 0,40 « 0,50 « 0,64	До 0,08 « 0,16 « 0,24 « 0,32 « 0,40 « 0,50 « 0,64 « 0,80	0,40 0,44 0,50 0,56 0,64 0,70 0,90 1,10
Св. 0,40 до 0,50	Св. 0,12 « 0,24 « 0,32 « 0,40 « 0,50 « 0,64 « 0,80	До 0,12 « 0,24 « 0,32 « 0,40 « 0,50 « 0,64 « 0,80 « 1,00	0,50 0,56 0,64 0,70 0,80 0,90 1,10 1,40
Св. 0,50 до 0,64	Св. 0,12 « 0,24 « 0,40 « 0,50 « 0,64 « 0,80 « 1,00 « 1,20	До 0,12 « 0,24 « 0,40 « 0,50 « 0,64 « 0,80 « 1,00 « 1,20 « 1,28	0,64 0,70 0,80 0,90 1,00 1,20 1,40 1,60 1,80
Св. 0,64 до 0,80	Св. 0,20 « 0,40 « 0,50 « 0,64 « 0,80 « 1,00 « 1,20 « 1,20	До 0,20 « 0,40 « 0,50 « 0,64 « 0,80 « 1,00 « 1,20 « 1,60	0,80 0,90 1,00 1,10 1,20 1,40 1,80 2,20
Св. 0,80 до 1,00	Св. 0,24 « 0,40 « 0,64 « 0,80 « 1,00 « 1,00	До 0,24 « 0,40 « 0,64 « 0,80 « 1,00 « 1,20	1,00 1,10 1,20 1,40 1,60 1,80

Продолжение таблицы 4.8

	« 1,20 « 1,60	« 1,60 « 2,00	2,20 2,80
Св. 1,00 до 1,20	Св. 0,32 « 0,64 « 0,80 « 1,00 « 1,20 « 1,60 « 2,00 « 2,00	До 0,32 « 0,64 « 0,80 « 1,00 « 1,20 « 1,60 « 2,00 « 2,40	1,20 1,40 1,60 1,80 2,00 2,40 2,80 3,20
Св. 1,20 до 1,60	Св. 0,40 « 0,80 « 1,00 « 1,20 « 1,60 « 1,60 « 2,00 « 2,40 « 2,40	До 0,40 « 0,80 « 1,00 « 1,20 « 1,60 « 2,00 « 2,40 « 3,20	1,60 1,80 2,00 2,20 2,40 2,80 3,60 4,40
Св. 1,60 до 2,00	Св. 0,40 « 0,80 « 1,20 « 1,60 « 2,00 « 2,40 « 2,40 « 3,20 « 3,20	До 0,40 « 0,80 « 1,20 « 1,60 « 2,00 « 2,40 « 3,20 « 4,00	2,00 2,20 2,40 2,80 3,20 3,60 4,40 5,60
Св. 2,00 до 2,40	Св. 0,64 « 1,20 « 1,60 « 2,00 « 2,40 « 2,40 « 3,20 « 3,20 « 4,00 « 4,80	До 0,64 « 1,20 « 1,60 « 2,00 « 2,40 « 3,20 « 4,00 « 4,80	2,40 2,80 3,20 3,60 4,00 4,40 5,60 6,40
Св. 2,40 до 3,20	Св. 0,80 « 1,60 « 2,00 « 2,40 « 2,40 « 3,20 « 4,00 « 4,00 « 5,00 « 5,00 « 6,40	До 0,80 « 1,60 « 2,00 « 2,40 « 3,20 « 4,00 « 5,00 « 6,40	3,20 3,60 4,00 4,40 5,00 5,60 7,00 9,00
Св. 3,20 до 4,00	Св. 1,00 « 1,60 « 2,40 « 3,20 « 3,20 « 4,00 « 4,00 « 5,00 « 5,00 « 6,40 « 6,40 « 8,00	До 1,00 « 1,60 « 2,40 « 3,20 « 4,00 « 5,00 « 6,40 « 8,00	4,00 4,40 5,00 5,60 6,40 7,00 9,00 11,00
Св. 4,00 до 5,00	Св. 1,20 « 2,40	До 1,20 « 2,40 « 3,20	5,00 5,60 6,40

Продолжение таблицы 4.8

	« 3,20 « 4,00 « 5,00 « 6,40 « 8,00	« 4,00 « 5,00 « 6,40 « 8,00 « 10,00	7,00 8,00 9,00 11,00 14,00
Св. 5,00 до 6,40	Св. 1,20 « 2,40 « 4,00	До 1,20 « 2,40 « 4,00 « 5,00	6,40 7,00 8,00 9,00
	« 5,00 « 6,40 « 8,00 « 10,00 « 12,00	« 6,40 « 8,00 « 10,00 « 12,00 « 12,80	10,00 12,00 14,00 16,00 18,00
Св. 6,40 до 8,00	Св. 2,00 « 4,00 « 5,00 « 6,40 « 8,00 « 10,00 « 12,00	До 2,00 « 4,00 « 5,00 « 6,40 « 8,00 « 10,00 « 12,00 « 16,00	8,00 9,00 10,00 11,00 12,00 14,00 18,00 22,00
Св. 8,00 до 10,00	Св. 2,40 « 4,00 « 6,40 « 8,00 « 10,00 « 12,00 « 16,00	До 2,40 « 4,00 « 6,40 « 8,00 « 10,00 « 12,00 « 16,00 « 20,00	10,00 11,00 12,00 14,00 16,00 18,00 22,00 28,00
Св. 10,00 до 12,00	Св. 3,20 « 6,40 « 8,00 « 10,00 « 12,00 « 16,00 « 20,00	До 3,20 « 6,40 « 8,00 « 10,00 « 12,00 « 16,00 « 20,00 « 24,00	12,00 14,00 16,00 18,00 20,00 24,00 28,00 32,00
Св. 12,00 до 16,00	Св. 4,00 « 8,00 « 10,00 « 12,00 « 16,00 « 20,00 « 24,00	До 4,00 « 8,00 « 10,00 « 12,00 « 16,00 « 20,00 « 24,00 « 32,00	16,00 18,00 20,00 22,00 24,00 28,00 36,00 44,00
Св. 16,00 до 20,00	Св. 5,00 « 8,00 « 12,00 « 16,00 « 20,00 « 24,00	До 5,00 « 8,00 « 12,00 « 16,00 « 20,00 « 24,00 « 32,00	20,00 22,00 24,00 28,00 32,00 36,00 44,00

Окончание таблицы 4.8

	« 32,00	« 40,00	56,00
Св. 20,00 до 24,00		До 6,40	24,00
	Св. 6,40	« 12,00	28,00
	« 12,00	« 16,00	32,00
	« 16,00	« 20,00	36,00
	« 20,00	« 24,00	40,00
	« 24,00	« 32,00	44,00
	« 32,00	« 40,00	56,00
	« 40,00	« 48,00	64,00
Св. 24,00 до 32,00		До 8,00	32,00
	Св. 8,00	« 10,00	36,00
	« 16,00	« 20,00	40,00
	« 20,00	« 24,00	44,00
	« 24,00	« 32,00	50,00
	« 32,00	« 40,00	56,00
	« 40,00	« 50,00	70,00
	« 50,00	« 64,00	90,00
Св. 32,00 до 40,00		До 10,00	40,00
	Св. 10,00	« 16,00	44,00
	« 16,00	« 24,00	50,00
	« 24,00	« 32,00	56,00
	« 32,00	« 40,00	64,00
	« 40,00	« 50,00	70,00
	« 50,00	« 64,00	90,00
	« 64,00	« 80,00	110,00
Св. 40,00 до 50,00		До 12,00	50,00
	Св. 12,00	« 24,00	56,00
	« 24,00	« 32,00	64,00
	« 32,00	« 40,00	70,00
	« 40,00	« 50,00	80,00
	« 50,00	« 64,00	90,00
	« 64,00	« 80,00	110,00
	« 80,00	« 100,00	140,00
Св. 50,00 до 64,00		До 12,00	64,00
	Св. 12,00	« 24,00	70,00
	« 24,00	« 40,00	80,00
	« 40,00	« 50,00	90,00
	« 50,00	« 64,00	100,00
	« 64,00	« 80,00	120,00
	« 80,00	« 100,00	140,00
	« 100,00	« 120,00	160,00
« 120,00	« 128,00	180,00	
Св. 64,00 до 80,00		До 20,00	80,00
	Св. 20,00	« 40,00	90,00
	« 40,00	« 50,00	100,00
	« 50,00	« 64,00	110,00
	« 64,00	« 80,00	120,00
	« 80,00	« 100,00	140,00
	« 100,00	« 120,00	180,00
	« 120,00	« 160,00	220,00

Ряды припусков на обработку отливок определяют в соответствии с данными таблицы 4.9 в зависимости от степени точности поверхности детали.

Таблица 4.9 – Ряды припусков отливок

Степени точности поверхности	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	13-14	15	16	17	18	19	20	21	22
Ряды припусков	1-2	1-3	1-4	2-5	3-6	4-7	5-8	6-9	7-10	8-11	9-12	10-13	11-17	12-15	13-18

Полученные данные по величине общего допуска, ряду припусков и виду окончательной механической обработки позволяют определить по таблице 4.10 величину **общего припуска на сторону**.

Таблица 4.10 – Общий припуск на сторону для ряда припусков ОТЛИВКИ

Общий допуск элемента поверхности, мм	Вид окончательной механической обработки	Общий припуск на сторону, мм, не более, для ряда припуска отливки								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
До 0,10	Черновая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	–	–
	Чистовая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	–	–
	Тонкая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	–	–
Св. 0,10 до 0,11	Черновая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	–	–
	Получистовая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	–	–
	Чистовая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	–	–
	Тонкая	0,3	0,4	0,4	0,6	0,6	0,8	0,9	–	–
Св. 0,11 до 0,12	Черновая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,1	–
	Получистовая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,3	–
	Чистовая	0,3	0,3	0,5	0,5	0,7	0,8	1,0	1,3	–
	Тонкая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	–
Св. 0,12 до 0,14	Черновая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,1	–
	Получистовая	0,3	0,3	0,5	0,5	0,7	0,8	1,0	1,3	–
	Чистовая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	–
	Тонкая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	–
Св. 0,14 до 0,16	Черновая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,1	1,3
	Получистовая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	1,4
	Чистовая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	1,5
	Тонкая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	1,5
Св. 0,16 до 0,18	Черновая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,2	1,4
	Получистовая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	1,5
	Чистовая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	1,5
	Тонкая	0,3	0,5	0,5	0,7	0,8	0,9	1,1	1,4	1,6
Св. 0,18 до 0,20	Черновая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	1,2	1,4
	Получистовая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	1,5
	Чистовая	0,3	0,5	0,5	0,7	0,8	0,9	1,1	1,4	1,6
	Тонкая	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,4	1,6

Продолжение таблицы 4.10

Общий допуск элемента поверхности, мм	Вид окончательной механической обработки	Общий припуск на сторону, мм, не более, для ряда припуска отливки								
		10	11	12	13	14	15	16	17	18
До 0,10	Черновая	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Чистовая	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Тонкая	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Св. 0,10 до 0,11	Черновая	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Получистовая	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Чистовая Тонкая	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Св. 0,11 до 0,12	Черновая	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Получистовая	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Чистовая Тонкая	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Св. 0,12 до 0,14	Черновая	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Получистовая	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Чистовая Тонкая	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Св. 0,14 до 0,16	Черновая	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Получистовая	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Чистовая Тонкая	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Св. 0,16 до 0,18	Черновая	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Получистовая	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Чистовая Тонкая	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Св. 0,18 до 0,20	Черновая	1,8	–	–	–	–	–	–	–	–
	Получистовая	1,9	–	–	–	–	–	–	–	–
	Чистовая Тонкая	2,1 2,1	–	–	–	–	–	–	–	–
Общий допуск элемента поверхности, мм	Вид окончательной механической обработки	Общий припуск на сторону, мм, не более, для ряда припуска отливки								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Св. 0,20 до 0,22	Черновая	0,3	0,4	0,4	0,6	0,6	0,8	0,9	1,1	1,4
	Получистовая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,1	1,4	1,6
	Чистовая	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,4	1,6
	Тонкая	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,4	1,6
Св. 0,22 до 0,24	Черновая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1	1,4
	Получистовая	0,4	0,4	0,6	0,6	0,8	0,8	1,1	1,4	1,6
	Чистовая	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,4	1,6
	Тонкая	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,2	1,5	1,7
Св. 0,24 до 0,28	Черновая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4
	Получистовая	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,4	1,6
	Чистовая	0,5	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,5	1,7
	Тонкая	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,5	1,7
Св. 0,28 до 0,32	Черновая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4
	Получистовая	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,2	1,5	1,7
	Чистовая	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,5	1,7
	Тонкая	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,6	1,8

Продолжение таблицы 4.10

Св. до 0,36	0,32	Черновая	0,3	0,5	0,5	0,7	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5
		Получистовая	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,5	1,7
		Чистовая	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,6	1,8
		Тонкая	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,6	1,8
Св. до 0,40	0,36	Черновая	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5
		Получистовая	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,5	1,7
		Чистовая	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,6	1,8
		Тонкая	0,6	0,8	0,8	0,9	1,1	1,1	1,4	1,6	1,9
Св. до 0,44	0,40	Черновая	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5
		Получистовая	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,6	1,8
		Чистовая	0,6	0,7	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,7	1,9
		Тонкая	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,7	1,9
Общий допуск элемента поверхности, мм	Вид окончательной механической обработки	Общий припуск на сторону, мм, не более, для ряда припуска отливки									
		10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Св. до 0,22	0,20	Черновая	1,8	–	–	–	–	–	–	–	–
		Получистовая	2,0	–	–	–	–	–	–	–	–
		Чистовая	2,1	–	–	–	–	–	–	–	–
		Тонкая	2,1	–	–	–	–	–	–	–	–
Св. до 0,24	0,22	Черновая	1,8	2,2	2,6	–	–	–	–	–	–
		Получистовая	1,9	2,4	3,0	–	–	–	–	–	–
		Чистовая	2,1	2,5	3,1	–	–	–	–	–	–
		Тонкая	2,1	2,5	3,3	–	–	–	–	–	–
Св. до 0,28	0,24	Черновая	1,8	2,2	2,7	–	–	–	–	–	–
		Получистовая	2,0	2,4	3,0	–	–	–	–	–	–
		Чистовая	2,1	2,5	3,2	–	–	–	–	–	–
		Тонкая	2,2	2,6	3,3	–	–	–	–	–	–
Св. до 0,32	0,28	Черновая	1,8	2,2	2,7	3,3	–	–	–	–	–
		Получистовая	2,1	2,4	3,1	3,6	–	–	–	–	–
		Чистовая	2,2	2,6	3,1	3,6	–	–	–	–	–
		Тонкая	2,3	2,7	3,4	3,9	–	–	–	–	–
Св. до 0,36	0,32	Черновая	1,9	2,3	2,7	3,3	–	–	–	–	–
		Получистовая	2,1	2,5	3,1	3,6	–	–	–	–	–
		Чистовая	2,3	2,7	3,3	3,8	–	–	–	–	–
		Тонкая	2,3	2,7	3,4	3,9	–	–	–	–	–
Св. до 0,40	0,36	Черновая	1,9	2,3	2,8	3,3	4,3	–	–	–	–
		Получистовая	2,1	2,5	3,2	3,7	4,8	–	–	–	–
		Чистовая	2,3	2,7	3,3	3,8	5,0	–	–	–	–
		Тонкая	2,4	2,8	3,4	4,0	5,1	–	–	–	–
Св. до 0,44	0,40	Черновая	1,9	2,3	2,8	3,4	4,3	–	–	–	–
		Получистовая	2,2	2,6	3,1	3,6	4,8	–	–	–	–
		Чистовая	2,4	2,7	3,4	3,9	5,0	–	–	–	–
		Тонкая	2,4	2,8	3,4	4,0	5,1	–	–	–	–
Общий допуск элемента поверхности, мм	Вид окончательной механической обработки	Общий припуск на сторону, мм, не более, для ряда припуска отливки									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Св. до 0,50	0,44	Черновая	0,5	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6
		Получистовая	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,6	1,8
		Чистовая	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,7	1,9

Продолжение таблицы 4.10

		Тонкая	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,8	2,0
Св. до 0,56	0,50	Черновая	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6
		Получистовая	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,7	1,9
		Чистовая	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,8	2,0
		Тонкая	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,9	2,1
Св. до 0,64	0,56	Черновая	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0	1,3	1,5	1,7
		Получистовая	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,8	2,0
		Чистовая	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,9	2,1
		Тонкая	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	2,0	2,2
Св. до 0,70	0,64	Черновая	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,5	1,7
		Получистовая	0,8	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,9	2,1
		Чистовая	0,9	1,1	1,1	1,3	1,4	1,4	1,6	1,9	2,2
		Тонкая	1,1	1,1	1,3	1,4	1,4	1,6	1,8	2,1	2,3
Св. до 0,80	0,70	Черновая	0,6	0,8	0,8	0,9	1,1	1,1	1,4	1,6	1,8
		Получистовая	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	2,0	2,1
		Чистовая	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	0,8	2,1	2,3
		Тонкая	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,2	2,4
Св. до 0,90	0,80	Черновая	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8
		Получистовая	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,1	2,3
		Чистовая	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,2	2,4
		Тонкая	1,4	1,4	1,6	1,6	1,8	1,9	2,1	2,4	2,6
Св. до 1,00	0,90	Черновая	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,7	1,9
		Получистовая	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,1	2,4
		Чистовая	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,3	2,5
		Тонкая	1,5	1,6	1,6	1,8	1,9	2,0	2,2	2,5	2,7
Общий допуск элемента поверхности, мм		Вид окончательной механической обработки	Общий припуск на сторону, мм, не более, для ряда припуска отливки								
			10	11	12	13	14	15	16	17	18
Св. до 0,50	0,44	Черновая	2,0	2,4	2,8	3,4	4,4	5,3	—	—	—
		Получистовая	2,2	2,6	2,8	3,8	4,8	5,8	—	—	—
		Чистовая	2,4	2,8	3,5	3,9	5,2	6,2	—	—	—
		Тонкая	2,5	2,9	3,6	4,1	5,3	6,3	—	—	—
Св. до 0,56	0,50	Черновая	2,0	2,4	2,9	3,4	4,4	5,5	—	—	—
		Получистовая	2,3	2,7	3,3	3,8	4,9	5,8	—	—	—
		Чистовая	2,5	2,9	3,4	4,0	5,1	6,1	—	—	—
		Тонкая	2,6	3,0	3,6	4,3	5,5	6,3	—	—	—
Св. до 0,64	0,56	Черновая	2,1	2,4	2,9	3,5	4,4	5,5	6,5	—	—
		Получистовая	2,4	2,8	3,4	3,9	5,0	6,0	7,1	—	—
		Чистовая	2,6	3,0	3,6	4,1	5,3	6,3	7,3	—	—
		Тонкая	2,7	3,1	3,8	4,3	5,4	6,5	7,5	—	—
Св. до 0,70	0,64	Черновая	2,1	2,5	3,0	3,4	4,5	5,4	6,5	8,5	—
		Получистовая	2,4	2,8	3,5	3,9	5,0	6,0	7,1	9,3	—
		Чистовая	2,6	3,1	3,6	4,1	5,3	6,3	7,5	9,8	—
		Тонкая	2,8	3,1	3,9	4,4	5,6	6,5	7,8	9,8	—
Св. до 0,80	0,70	Черновая	2,2	2,8	3,1	3,6	4,6	5,6	6,5	8,5	—
		Получистовая	2,5	2,9	3,6	4,0	5,2	6,2	7,3	9,3	—
		Чистовая	2,8	3,1	3,8	4,3	5,4	6,5	7,5	9,8	—
		Тонкая	2,9	3,4	4,0	4,5	5,8	6,7	7,8	10,0	—

Продолжение таблицы 4.10

Св. до 0,90	0,80	Черновая	2,2	2,5	3,2	3,7	4,6	5,6	6,7	8,5	10,5
		Получистовая	2,7	3,1	3,7	4,1	5,3	6,3	7,3	9,5	11,5
		Чистовая	2,9	3,4	3,9	4,4	5,6	6,7	7,8	9,8	12,0
		Тонкая	3,1	3,4	4,1	4,6	5,8	6,9	8,0	10,5	12,5
Св. до 1,00	0,90	Черновая	2,3	2,7	3,1	3,6	4,8	5,6	6,7	8,8	10,5
		Получистовая	2,7	3,2	3,8	4,3	5,3	6,3	7,5	9,5	11,5
		Чистовая	3,1	3,5	4,0	4,5	5,8	6,7	7,8	10,0	12,0
		Тонкая	3,0	3,6	4,3	4,8	6,0	6,9	8,0	10,5	12,5
Общий допуск элемента поверхности, мм	Вид окончательной механической обработки	Общий припуск на сторону, мм, не более, для ряда припуска отливки									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Св. до 1,10	1,00	Черновая	0,8	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8	2,0
		Получистовая	1,1	1,3	1,4	1,4	1,6	1,6	1,9	2,2	2,4
		Чистовая	1,4	1,4	1,6	1,6	1,8	1,9	2,1	2,4	2,6
		Тонкая	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,3	2,5	2,7
Св. до 1,20	1,10	Черновая	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8	2,0
		Получистовая	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,3	2,5
		Чистовая	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,5	2,7
		Тонкая	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,1	2,4	2,7	2,8
Св. до 1,40	1,20	Черновая	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0	2,1
		Получистовая	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,5	2,7
		Чистовая	1,8	1,9	1,9	2,1	2,2	2,3	2,5	2,8	3,0
		Тонкая	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,6	2,9	3,2
Св. до 1,60	1,40	Черновая	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,1	2,3
		Получистовая	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,4	2,7	2,9
		Чистовая	1,9	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	3,0	3,1
		Тонкая	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1	3,4
Св. до 1,80	1,60	Черновая	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,1	2,3
		Получистовая	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,5	2,8	3,0
		Чистовая	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,8	3,1	3,3
		Тонкая	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	3,0	3,4	3,6
Св. до 2,00	1,80	Черновая	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4
		Получистовая	1,9	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	3,0	3,1
		Чистовая	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	3,0	3,4	3,6
		Тонкая	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,3	3,6	3,8
Св. до 2,20	2,00	Черновая	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,4	2,6
		Получистовая	2,1	2,3	2,4	2,4	2,5	2,7	2,8	3,2	3,4
		Чистовая	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,3	3,6	3,8
		Тонкая	2,9	3,0	3,1	3,1	3,3	3,4	3,6	3,9	4,1
Общий допуск элемента поверхности, мм	Вид окончательной механической обработки	Общий припуск на сторону, мм, не более, для ряда припуска отливки									
		10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Св. до 1,10	1,00	Черновая	2,4	2,7	3,3	3,8	4,8	5,8	6,7	8,8	10,5
		Получистовая	2,8	3,1	3,8	4,3	5,3	6,3	7,5	9,5	11,5
		Чистовая	3,1	3,4	4,1	4,6	5,8	6,7	7,8	10,0	12,5
		Тонкая	3,3	3,7	4,4	4,9	6,0	7,1	8,3	10,5	12,5

Продолжение таблицы 4.10

Св. до 1,20	1,10	Черновая	2,4	2,8	3,4	3,8	4,8	5,8	6,9	8,8	11,0
		Получистовая	2,9	3,4	3,9	4,4	5,4	6,5	7,5	9,8	12,0
		Чистовая	3,1	3,6	4,3	4,8	5,8	6,9	8,0	10,0	12,5
		Тонкая	3,4	3,8	4,4	4,9	6,2	7,1	8,3	10,5	12,5
Св. до 1,40	1,20	Черновая	2,5	2,9	3,5	3,9	4,9	6,0	6,9	9,0	11,0
		Получистовая	3,1	3,4	4,1	4,6	5,6	6,7	7,8	9,8	12,0
		Чистовая	3,4	3,9	4,5	5,0	6,1	7,1	8,3	10,5	12,5
		Тонкая	3,7	4,0	4,8	5,1	6,5	7,5	8,5	11,0	13,0
Св. до 1,60	1,40	Черновая	2,7	3,1	3,6	4,0	5,0	6,0	7,1	9,0	11,0
		Получистовая	3,3	3,6	4,3	4,8	5,8	6,9	8,0	10,0	12,0
		Чистовая	3,6	4,1	4,6	5,1	6,3	7,3	8,5	10,5	13,0
		Тонкая	3,9	4,3	5,0	5,4	6,7	7,8	8,8	11,0	13,5
Св. до 8,80	1,60	Черновая	2,7	3,2	3,7	4,1	5,2	6,2	7,1	9,0	11,0
		Получистовая	3,5	3,8	4,4	4,9	6,0	7,1	8,0	10,0	12,5
		Чистовая	3,8	4,3	4,8	5,3	6,5	7,5	8,5	11,0	13,0
		Тонкая	4,0	4,4	5,2	5,6	6,9	7,8	9,0	11,0	13,5
Св. до 2,00	1,80	Черновая	2,8	3,3	3,8	4,3	5,1	6,1	7,3	9,3	11,0
		Получистовая	3,6	4,0	4,6	5,0	6,1	7,1	8,3	10,5	12,5
		Чистовая	4,0	4,4	5,0	5,4	6,7	7,8	8,8	11,0	13,0
		Тонкая	4,3	4,8	5,5	5,8	7,1	8,0	9,3	11,5	13,5
Св. до 2,20	2,00	Черновая	3,0	3,4	3,9	4,4	5,5	6,3	7,3	9,5	11,5
		Получистовая	3,8	4,1	4,8	5,3	6,3	7,3	8,5	10,5	12,5
		Чистовая	4,3	4,6	5,1	5,8	6,9	8,0	9,0	11,0	13,5
		Тонкая	4,6	5,0	5,6	6,1	7,3	8,3	9,5	12,0	14,0
Общий допуск элемента поверхности, мм	Вид окончательной механической обработки	Общий припуск на сторону, мм, не более, для ряда припуска отливки									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Св. до 2,40	2,20	Черновая	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,3	2,5	2,7
		Получистовая	2,4	2,5	2,6	2,6	2,8	2,9	3,1	3,4	3,6
		Чистовая	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	3,3	3,5	3,8	3,9
		Тонкая	3,1	3,1	3,3	3,4	3,4	3,6	3,8	4,1	4,3
Св. до 2,80	2,40	Черновая	1,8	1,9	1,9	2,1	2,2	2,3	2,5	2,6	2,9
		Получистовая	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,3	3,6	3,8
		Чистовая	3,0	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,8	4,0	4,3
		Тонкая	3,5	3,6	3,7	3,8	3,8	3,9	4,1	4,4	4,6
Св. до 3,20	2,80	Черновая	1,9	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,9	3,1
		Получистовая	3,0	3,1	3,1	3,3	3,4	3,4	3,6	4,0	4,1
		Чистовая	3,4	3,6	3,6	3,8	3,9	4,0	4,1	4,5	4,6
		Тонкая	3,8	3,9	4,0	4,1	4,3	4,3	4,5	4,8	5,0
Св. до 3,60	3,20	Черновая	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1	3,3
		Получистовая	3,3	3,4	3,4	3,6	3,6	3,8	4,0	4,3	4,5
		Чистовая	3,9	4,0	4,1	4,3	4,3	4,4	4,6	4,9	5,2
		Тонкая	4,3	4,4	4,4	4,5	4,6	4,8	4,9	5,3	5,5
Св. до 4,00	3,60	Черновая	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,2	3,4	3,6
		Получистовая	3,6	3,8	3,9	4,0	4,1	4,3	4,4	4,8	4,9
		Чистовая	4,3	4,4	4,4	4,5	4,6	4,8	4,9	5,3	5,5
		Тонкая	4,8	4,9	5,0	5,2	5,1	5,3	5,4	5,8	6,0
Св. до 4,40	4,00	Черновая	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,3	3,5	3,7
		Получистовая	3,8	3,9	4,0	4,1	4,3	4,3	4,5	4,8	5,0
		Чистовая	4,5	4,6	4,8	4,8	4,9	5,0	5,1	5,4	5,8
		Тонкая	4,9	5,0	5,2	5,3	5,3	5,5	5,6	6,0	6,2

Продолжение таблицы 4.10

Св. до 5,00	4,40	Черновая	2,9	3,0	3,1	3,1	3,3	3,4	3,6	3,8	4,0
		Получистовая	4,3	4,4	4,4	4,5	4,6	4,8	4,9	5,3	5,5
		Чистовая	5,0	5,1	5,3	5,3	5,4	5,6	5,8	6,0	6,3
		Тонкая	5,6	5,8	5,8	6,0	6,0	6,2	6,3	6,7	6,9
Общий допуск элемента поверхности, мм	Вид окончательной механической обработки	Общий припуск на сторону, мм, не более, для ряда припуска отливки									
		1 0	11	12	13	14	15	16	17	18	
Св. до 2,40	2,20	Черновая	3,1	3,4	4,0	4,5	5,4	6,5	7,5	9,5	11,5
		Получистовая	4,0	4,4	5,0	5,4	6,5	7,5	8,8	11,0	13,0
		Чистовая	4,4	4,9	5,5	6,0	7,1	8,3	9,3	11,5	13,5
		Тонкая	4,8	5,1	5,8	6,3	7,5	8,5	9,8	12,0	14,0
Св. до 2,80	2,40	Черновая	3,3	3,6	4,1	4,6	5,6	6,7	7,8	9,8	11,5
		Получистовая	4,3	4,6	5,1	5,6	6,7	7,8	9,0	11,0	13,0
		Чистовая	4,8	5,2	5,8	6,1	7,5	8,5	9,5	11,5	14,0
		Тонкая	5,2	5,4	6,1	6,7	8,0	9,0	10,0	12,5	14,5
Св. до 3,20	2,80	Черновая	3,4	3,9	4,4	4,9	5,8	6,9	7,8	9,8	12,0
		Получистовая	4,6	5,0	5,6	6,0	7,1	8,3	9,3	11,5	13,5
		Чистовая	5,1	5,6	6,1	6,7	7,8	8,8	9,8	12,0	14,5
		Тонкая	5,4	5,8	6,5	7,1	8,3	9,3	10,5	12,5	15,0
Св. до 3,60	3,20	Черновая	3,6	4,1	4,6	5,2	6,2	7,1	8,0	10,0	12,0
		Получистовая	4,9	5,3	5,8	6,3	7,5	8,5	9,5	11,5	14,0
		Чистовая	5,6	6,0	6,5	7,1	8,3	9,3	10,5	12,5	15,0
		Тонкая	6,0	6,3	7,1	7,5	8,8	9,8	11,0	13,0	15,5
Св. до 4,00	3,60	Черновая	3,9	4,3	4,8	5,3	6,3	7,3	8,3	10,5	12,5
		Получистовая	5,3	5,6	6,3	6,7	8,0	9,0	9,8	12,0	14,0
		Чистовая	6,0	6,3	6,9	7,5	8,8	9,8	10,5	13,0	15,0
		Тонкая	6,5	6,9	7,5	8,0	9,3	10,5	11,5	13,5	16,0
Св. до 4,40	4,00	Черновая	4,0	4,4	4,9	5,5	6,5	7,5	8,5	10,5	12,5
		Получистовая	5,5	5,8	6,3	6,9	8,0	9,0	10,0	12,0	14,5
		Чистовая	6,1	6,7	7,3	7,8	9,0	9,8	11,0	13,0	15,5
		Тонкая	6,7	7,1	7,8	8,3	9,5	10,5	11,5	14,0	16,0
Св. до 5,00	4,40	Черновая	4,4	4,8	5,3	5,8	6,7	7,8	8,8	11,0	13,0
		Получистовая	5,8	6,3	6,9	7,3	8,5	9,5	10,5	12,5	14,5
		Чистовая	6,7	7,1	7,8	8,3	9,5	10,5	11,5	14,0	16,0
		Тонкая	7,3	7,8	8,5	9,0	10,0	11,0	12,0	14,5	16,5
Общий допуск элемента поверхности, мм	Вид окончательной механической обработки	Общий припуск на сторону, мм, не более, для ряда припуска отливки									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Св. до 5,60	5,0	Черновая	–	3,3	3,4	3,4	3,6	3,6	3,9	4,1	4,3
		Получистовая	–	4,9	5,0	5,2	5,1	5,3	5,4	5,8	6,0
		Чистовая	–	5,8	5,8	6,0	6,0	6,2	6,3	6,7	6,9
		Тонкая	–	6,3	6,5	6,5	6,7	6,7	6,9	7,3	7,5
Св. до 6,40	5,60	Черновая	–	3,8	3,9	4,0	4,1	4,3	4,4	4,6	4,8
		Получистовая	–	5,1	5,3	5,3	5,4	5,6	5,8	6,0	6,3
		Чистовая	–	6,1	6,3	6,3	6,5	6,5	6,7	7,1	7,3
		Тонкая	–	6,9	7,1	7,1	7,3	7,3	7,5	7,8	8,0

Продолжение таблицы 4.10

Св. 6,40 до 7,00	Черновая	—	—	4,3	4,3	4,4	4,5	4,8	4,9	5,2
	Получистовая	—	—	5,8	6,0	6,0	6,2	6,3	6,7	6,9
	Чистовая	—	—	6,9	7,1	7,1	7,3	7,5	7,8	8,0
	Тонкая	—	—	7,8	7,8	7,8	8,0	8,3	8,5	8,8
Св. 7,00 до 8,00	Черновая	—	—	4,8	4,8	4,9	5,0	5,1	5,5	5,6
	Получистовая	—	—	6,5	6,5	6,7	6,7	6,9	7,3	7,5
	Чистовая	—	—	8,0	8,0	8,0	8,3	8,5	8,8	9,0
	Тонкая	—	—	8,5	8,8	8,8	8,8	9,0	9,3	9,5
Св. 8,00 до 9,00	Черновая	—	—	—	5,3	5,4	5,6	5,8	6,0	6,1
	Получистовая	—	—	—	7,3	7,5	7,5	7,8	8,0	8,3
	Чистовая	—	—	—	9,0	9,0	9,3	9,3	9,8	9,8
	Тонкая	—	—	—	9,8	9,8	9,8	10,0	10,5	10,5
Св. 9,00 до 10,00	Черновая	—	—	—	6,0	6,0	6,2	6,3	6,5	6,7
	Получистовая	—	—	—	8,3	8,3	8,5	8,5	9,0	9,0
	Чистовая	—	—	—	9,8	9,8	9,8	10,0	10,5	10,5
	Тонкая	—	—	—	11,0	11,0	11,0	11,5	11,5	12,0
Св. 10,00 до 11,00	Черновая	—	—	—	—	6,5	6,5	6,7	6,9	7,1
	Получистовая	—	—	—	—	8,5	8,8	8,8	9,3	9,3
	Чистовая	—	—	—	—	10,0	10,0	10,5	10,5	11,0
	Тонкая	—	—	—	—	11,0	11,5	11,5	12,0	12,0
Общий допуск элемента поверхности, мм	Вид окончательной механической обработки	Общий припуск на сторону, мм, не более, для ряда припуска отливки								
		10	11	12	13	14	15	16	17	18
Св. 5,00 до 5,60	Черновая	4,8	5,2	5,6	6,2	7,1	8,0	9,0	11,0	13,0
	Получистовая	6,3	6,7	7,3	8,0	9,0	9,8	11,0	13,0	15,5
	Чистовая	7,3	7,8	8,3	8,8	10,0	11,0	12,0	14,5	16,5
	Тонкая	8,0	8,3	9,0	9,5	11,0	12,0	13,0	15,0	17,5
Св. 5,60 до 6,40	Черновая	5,1	5,6	6,2	6,5	7,5	8,5	9,5	11,5	13,5
	Получистовая	6,7	7,1	7,8	8,3	9,3	10,5	11,5	13,5	15,5
	Чистовая	7,8	8,3	8,8	9,3	10,5	11,5	12,5	15,0	17,0
	Тонкая	8,5	9,0	9,8	10,0	11,5	12,5	13,5	16,0	18,0
Св. 6,40 до 7,00	Черновая	5,4	6,0	6,5	6,9	8,0	9,0	9,8	12,0	14,0
	Получистовая	7,3	7,5	8,3	8,8	9,8	11,0	12,0	14,0	16,0
	Чистовая	8,5	8,8	9,5	9,8	11,0	12,0	13,0	15,5	17,5
	Тонкая	9,3	9,5	10,5	11,0	12,0	13,0	14,0	16,5	18,5
Св. 7,00 до 8,00	Черновая	6,0	6,5	6,9	7,5	8,5	9,5	10,5	12,5	14,5
	Получистовая	7,8	8,3	8,8	9,3	10,5	11,5	12,5	14,5	17,0
	Чистовая	9,5	9,8	10,5	11,0	12,0	13,0	14,0	16,5	18,5
	Тонкая	10,0	10,5	11,0	11,5	13,0	14,0	15,0	17,5	19,5
Св. 8,00 до 9,00	Черновая	6,5	6,9	7,5	8,0	9,0	9,8	11,0	13,0	15,0
	Получистовая	8,8	9,0	9,8	10,0	11,0	12,0	13,5	15,5	17,5
	Чистовая	10,5	10,5	11,5	12,0	13,0	14,0	15,0	17,5	19,5
	Тонкая	11,0	11,5	12,5	13,6	14,0	15,0	16,0	18,5	20,5
Св. 9,00 до 10,00	Черновая	7,1	7,5	8,0	8,5	9,5	10,5	11,5	13,5	15,5
	Получистовая	9,5	9,8	10,5	11,0	12,0	13,0	14,0	16,5	18,5
	Чистовая	11,0	11,5	12,0	12,5	14,0	15,0	16,0	18,0	20,5
	Тонкая	12,5	12,5	13,5	14,0	15,0	16,0	17,0	19,5	22,0

Продолжение таблицы 4.10

Св. 10,00 до 11,00	Черновая	7,5	8,0	8,5	9,0	9,8	11,0	12,0	14,0	16,0
	Получистовая	9,8	10,0	10,5	11,0	12,5	13,5	14,5	16,5	18,5
	Чистовая	11,5	12,0	12,5	13,0	14,0	15,0	16,0	18,5	20,5
	Тонкая	12,5	13,0	13,5	14,0	15,5	16,5	17,5	19,5	22,0
Общий допуск элемента поверхнос- ти, мм	Вид окончательной механической обработки	Общий припуск на сторону, мм, не более, для ряда припуска отливки								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Св. 11,00 до 12,00	Черновая	–	–	–	–	7,1	7,3	7,5	7,5	7,8
	Получистовая	–	–	–	–	9,3	9,5	9,5	9,8	10,0
	Чистовая	–	–	–	–	11,0	11,0	11,5	11,5	12,0
	Тонкая	–	–	–	–	12,5	12,5	13,0	13,0	13,5
Св. 12,00 до 14,00	Черновая	–	–	–	–	–	8,5	8,5	8,8	9,0
	Получистовая	–	–	–	–	–	11,0	11,5	11,5	12,0
	Чистовая	–	–	–	–	–	12,5	13,0	13,0	13,5
	Тонкая	–	–	–	–	–	14,5	14,5	15,0	15,0
Св. 14,00 до 16,00	Черновая	–	–	–	–	–	9,5	9,5	9,8	10,0
	Получистовая	–	–	–	–	–	12,0	12,5	12,5	13,0
	Чистовая	–	–	–	–	–	15,0	15,0	15,5	15,5
	Тонкая	–	–	–	–	–	16,5	17,0	17,0	17,5
Св. 16,00 до 18,00	Черновая	–	–	–	–	–	–	10,5	11,0	11,0
	Получистовая	–	–	–	–	–	–	13,5	14,0	14,0
	Чистовая	–	–	–	–	–	–	15,5	16,0	16,0
	Тонкая	–	–	–	–	–	–	18,0	18,0	18,5
Св. 18,00 до 20,00	Черновая	–	–	–	–	–	–	11,5	11,5	12,0
	Получистовая	–	–	–	–	–	–	14,5	15,0	15,0
	Чистовая	–	–	–	–	–	–	17,5	17,5	18,0
	Тонкая	–	–	–	–	–	–	19,5	20,0	20,0
Св. 20,00 до 22,00	Черновая	–	–	–	–	–	–	–	13,0	13,5
	Получистовая	–	–	–	–	–	–	–	16,5	16,5
	Чистовая	–	–	–	–	–	–	–	19,5	19,5
	Тонкая	–	–	–	–	–	–	–	21,0	22,0
Св. 22,00 до 24,00	Черновая	–	–	–	–	–	–	–	14,0	14,5
	Получистовая	–	–	–	–	–	–	–	17,5	18,0
	Чистовая	–	–	–	–	–	–	–	21,0	21,0
	Тонкая	–	–	–	–	–	–	–	20,5	24,0
Общий допуск элемента поверхнос- ти, мм	Вид окончательной механической обработки	Общий припуск на сторону, мм, не более, для ряда припуска отливки								
		10	11	12	13	14	15	16	17	18
Св. 11,00 до 12,00	Черновая	8,3	8,5	9,0	9,5	10,5	11,5	12,5	14,5	16,5
	Получистовая	10,5	11,0	11,5	12,0	13,0	14,0	15,0	17,5	19,5
	Чистовая	12,5	12,5	13,5	14,0	15,0	16,0	17,0	19,5	21,0
	Тонкая	14,0	14,5	15,0	15,5	16,5	17,5	19,0	21,0	23,5
Св. 12,00 до 14,00	Черновая	9,5	9,8	10,5	11,0	12,0	13,0	14,0	16,0	18,0
	Получистовая	12,0	12,5	13,0	13,5	15,0	16,0	17,0	19,0	21,0
	Чистовая	14,0	14,5	15,0	15,5	16,5	17,5	18,5	21,0	23,0
	Тонкая	15,5	16,0	16,5	17,0	18,5	19,5	20,5	23,0	25,0

Продолжение таблицы 4.10

Св. 14,00 до 16,00	Черновая	10,5	11,0	11,5	12,0	13,0	14,0	15,0	17,0	19,0
	Получистовая	13,5	13,5	14,5	15,0	16,0	17,0	18,0	20,0	22,0
	Чистовая	16,0	16,5	17,0	17,5	19,0	20,0	21,0	23,0	25,0
	Тонкая	18,0	18,0	19,0	19,5	20,5	22,0	22,5	25,0	27,0
Св. 16,00 до 18,00	Черновая	11,5	12,0	12,5	13,0	14,0	16,0	16,0	18,0	20,0
	Получистовая	14,5	15,0	15,5	16,0	17,0	18,0	19,0	21,0	23,5
	Чистовая	16,5	17,0	17,5	18,0	19,5	20,5	21,0	23,5	26,0
	Тонкая	19,0	19,5	20,0	20,5	22,0	22,5	24,0	26,0	28,0
Св.18,00 до20,00	Черновая	12,5	12,5	13,0	13,5	14,5	15,5	16,5	18,5	20,5
	Получистовая	15,5	16,0	16,5	17,0	18,0	19,0	20,0	22,5	24,0
	Чистовая	18,5	18,5	19,5	20,0	21,0	22,0	23,0	25,0	28,0
	Тонкая	20,5	21,0	22,0	22,0	23,5	24,0	25,0	28,0	30,0
Св. 20,00 до 22,00	Черновая	13,5	14,0	14,5	15,0	16,0	17,0	18,0	20,0	22,0
	Получистовая	17,0	17,5	18,0	18,5	19,5	20,5	22,0	24,0	26,0
	Чистовая	20,0	20,5	21,0	21,0	22,5	23,5	25,0	27,0	29,0
	Тонкая	22,0	22,5	23,5	24,0	25,0	26,0	27,0	29,0	31,5
Св. 22,00 до 24,00	Черновая	15,0	15,0	15,5	16,0	17,0	18,0	19,0	21,0	23,0
	Получистовая	18,0	18,5	19,0	19,5	21,0	22,0	23,0	25,0	27,0
	Чистовая	22,0	22,0	22,5	23,0	24,0	25,0	26,5	29,0	30,5
	Тонкая	24,0	25,0	25,0	28,0	27,0	28,0	29,0	31,5	33,5
Общий допуск элемента поверхнос ти, мм	Вид окончательной механической обработки	Общий припуск на сторону, мм, не более, для ряда припуска отливки								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Св. 24,00 до 28,00	Черновая	—	—	—	—	—	—	—	—	16,5
	Получистовая	—	—	—	—	—	—	—	—	20,0
	Чистовая	—	—	—	—	—	—	—	—	23,0
	Тонкая	—	—	—	—	—	—	—	—	25,0
Св. 28,00 до 32,00	Черновая	—	—	—	—	—	—	—	—	19,0
	Получистовая	—	—	—	—	—	—	—	—	23,5
	Чистовая	—	—	—	—	—	—	—	—	26,0
	Тонкая	—	—	—	—	—	—	—	—	30,0
Св. 32,00 до 36,00	Черновая	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Получистовая	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Чистовая	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Тонкая	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Св. 36,00 до 40,00	Черновая	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Получистовая	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Чистовая	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Тонкая	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Св. 40,00 до 44,00	Черновая	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Получистовая	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Чистовая	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Тонкая	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Св. 44,00 до 50,00	Черновая	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Получистовая	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Чистовая	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Тонкая	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Св. 50,00 до 55,00	Черновая	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Получистовая	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Чистовая	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Тонкая	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение таблицы 4.10

Общий допуск элемента поверхности, мм	Вид окончательной механической обработки	Общий припуск на сторону, мм, не более, для ряда припуска отливки								
		10	11	12	13	14	15	16	17	18
Св. 24,00 до 28,00	Черновая	17,0	17,5	18,0	18,5	19,5	20,5	21,0	23,5	25,0
	Получистовая	21,0	21,0	22,0	22,5	23,5	25,0	26,0	28,0	30,0
	Чистовая	24,0	24,0	25,0	25,0	26,5	28,0	29,0	30,5	33,5
	Тонкая	26,5	27,0	28,0	28,0	29,0	30,5	31,5	33,5	35,5
Св. 28,00 до 32,00	Черновая	19,0	19,5	20,0	20,5	22,0	22,5	23,5	26,0	28,0
	Получистовая	23,5	24,0	25,0	25,0	26,5	27,0	28,0	30,5	32,5
	Чистовая	26,5	27,0	28,0	28,0	29,0	30,5	31,5	33,5	35,5
	Тонкая	30,5	30,5	31,5	32,5	33,5	34,5	35,5	37,5	40,0
Св. 32,00 до 36,00	Черновая	21,0	22,0	22,5	23,0	24,0	25,0	26,0	28,0	30,0
	Получистовая	26,5	27,0	27,0	28,0	29,0	30,0	31,5	33,5	35,5
	Чистовая	30,5	30,5	31,5	31,5	33,5	34,5	35,5	37,5	40,0
	Тонкая	33,5	34,5	34,5	35,5	36,5	37,5	39,0	41,0	42,5
Св. 36,00 до 40,00	Черновая	23,5	24,0	25,0	25,0	26,0	27,0	28,0	30,0	32,5
	Получистовая	29,0	30,0	30,0	30,5	31,5	32,5	33,5	36,5	37,5
	Чистовая	32,5	33,5	33,5	34,5	35,5	36,5	37,5	40,0	42,5
	Тонкая	37,5	37,5	39,0	39,0	40,0	41,0	42,5	45,0	47,5
Св. 40,00 до 44,00	Черновая	–	26,0	26,5	27,0	28,0	29,0	30,0	32,5	34,5
	Получистовая	–	32,5	33,5	34,5	35,5	36,5	37,5	39,0	41,0
	Чистовая	–	36,5	37,5	37,5	39,0	40,0	41,0	44,0	46,0
	Тонкая	–	39,0	40,0	40,0	41,0	42,5	44,0	46,0	47,5
Св. 44,00 до 50,00	Черновая	–	30,0	30,0	30,5	31,5	32,5	33,5	35,5	37,5
	Получистовая	–	36,5	37,5	37,5	39,0	40,0	41,0	42,5	45,0
	Чистовая	–	41,0	42,5	42,5	44,0	45,0	46,0	47,5	50,0
	Тонкая	–	44,0	44,0	45,0	40,0	47,5	47,5	50,0	53,0
Св. 50,00 до 55,00	Черновая	–	–	33,5	33,5	34,5	35,5	36,5	39,0	41,0
	Получистовая	–	–	42,5	42,5	44,0	44,0	45,0	47,5	50,0
	Чистовая	–	–	47,5	47,5	49,0	50,0	50,0	53,0	54,5
	Тонкая	–	–	50,0	50,0	51,5	53,5	53,0	56,0	58,0
Общий допуск элемента поверхности, мм	Вид окончательной механической обработки	Общий припуск на сторону, мм, не более, для ряда припуска отливки								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Св. 56,00 до 64,00	Черновая	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Получистовая	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Чистовая	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Тонкая	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Св. 64,00 до 70,00	Черновая	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Получистовая	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Чистовая	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Тонкая	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Св. 70,00 до 80,00	Черновая	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Получистовая	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Чистовая	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Тонкая	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Окончание таблицы 4.10

Общий допуск элемента поверхности, мм	Вид окончательной механической обработки	Общий припуск на сторону, мм, не более, для ряда припуска отливки								
		10	11	12	13	14	15	16	17	18
Св. 56,00 до 64,00	Черновая	–	–	39,0	39,0	40,0	41,0	42,5	44,0	46,0
	Получистовая	–	–	46,0	46,0	47,5	47,5	49,0	51,5	53,0
	Чистовая	–	–	50,0	50,0	51,5	53,0	53,0	56,0	58,0
	Тонкая	–	–	53,0	53,0	54,5	54,5	56,0	58,0	60,0
Св. 64,00 до 70,00	Черновая	–	–	–	42,5	42,5	44,0	45,0	47,5	49,0
	Получистовая	–	–	–	50,0	51,5	51,5	53,0	56,0	58,0
	Чистовая	–	–	–	56,0	56,0	58,0	58,0	61,5	63,0
	Тонкая	–	–	–	58,0	60,0	60,0	61,5	65,0	67,0
Св. 70,00 до 80,00	Черновая	–	–	–	47,5	47,5	49,0	50,0	51,5	54,5
	Получистовая	–	–	–	56,0	56,0	58,0	58,0	61,5	63,0
	Чистовая	–	–	–	61,5	63,0	63,0	65,0	67,0	69,0
	Тонкая	–	–	–	65,0	67,0	67,0	69,0	71,0	73,0

Для отливок мелкосерийного и единичного производства допускается назначать увеличенные значения припусков, соответствующие интервалам общих допусков, расположенным в таблице 4.10 соответственно на 1 и 2 строки ниже интервала действительного допуска.

Для наклонных, конических и фасонных поверхностей, заданных координатами от одной базы или поверхности, допускается устанавливать допуски на номинальное значение наибольшего из размеров. Допуски размеров отливок от предварительно обработанной поверхности до литой поверхности должны соответствовать приведенным в таблице 4.6.

После определения припусков на поверхности, перпендикулярные плоскости разъема формы, назначают формовочные уклоны, которые облегчают извлечение модели после выполнении формовки. Величину уклонов определяют по ГОСТ 3212–92 в зависимости от высоты поверхности относительно поверхности разъема, материала модельного комплекта, по которому выполняют формовку будущей отливки, и с учетом обрабатываемости поверхности. Способы назначения уклонов показаны на рисунке 4.2 (а–г).

Формовочные уклоны в зависимости от требований, предъявляемых к поверхности детали, выполняют:

– на обрабатываемых поверхностях – сверх припуска на механическую обработку за счет увеличения размеров отливки (рис. 4.2 а), причём допускается выполнять уклоны за счет уменьшения припуска на 30 %;

– на необрабатываемых поверхностях, не сопрягаемых с другими деталями – за счёт увеличения и уменьшения размеров отливки (рис. 4.2 б);

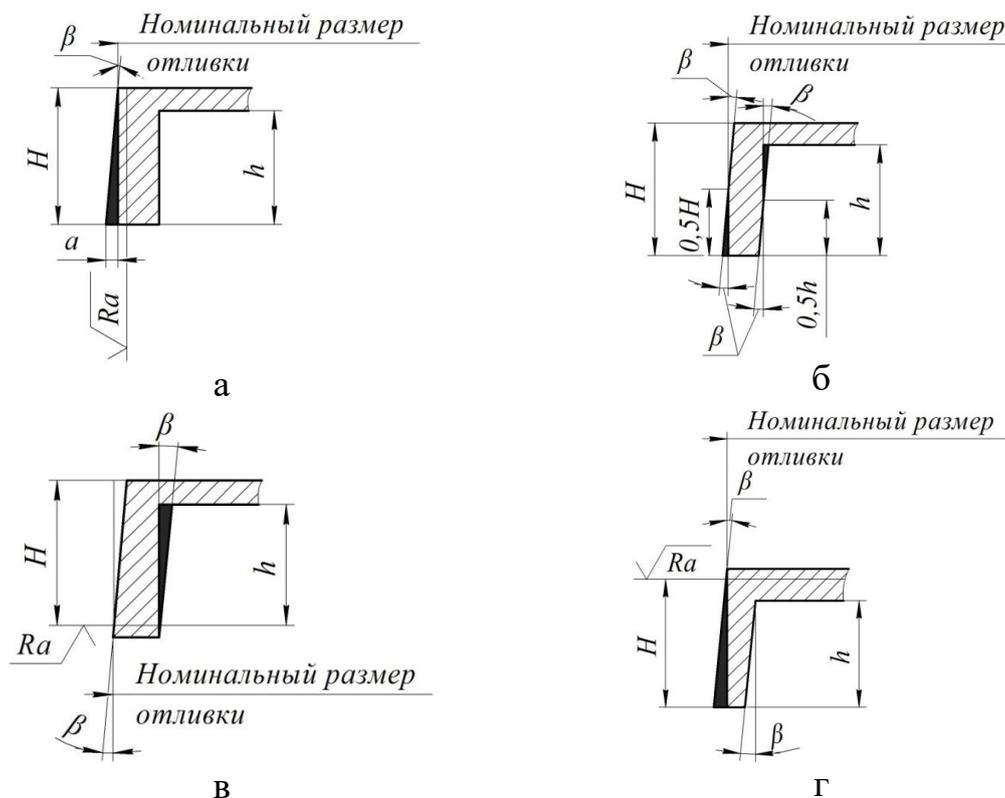


Рисунок 4.2 – Варианты выполнения формовочных уклонов

– на необрабатываемых поверхностях, сопрягаемых по контуру с другими деталями – за счёт уменьшения размеров отливки в зависимости от поверхностей сопряжения (рис. 4.2 в);

– на необрабатываемых поверхностях, сопрягаемых по контуру с другими деталями – за счёт увеличения (рис. 4.2 г) размеров отливки в зависимости от поверхностей сопряжения.

Значения формовочных уклонов формообразующих поверхностей модельного комплекта для песчано-глинистых смесей (ПГС) указаны в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Величина формовочных уклонов

Высота h , мм	Формовочный уклон β комплекта			
	металлического	пластмассового	деревянного	
	мм			мм
До 10	2°20'	0,40	2°55'	0,50
Св. 10 » 16	1°35'	0,45	1°55'	0,55
» 16 » 25	1°10'	0,50	1°30'	0,65
» 25 » 40	50'	0,60	1°05'	0,75
» 40 » 63	35'	0,65	45'	0,85

Окончание таблицы 4.11

» 63 » 100	25'	0,75	35'	1,00
» 100 » 160	20'	0,95	25'	1,20
» 160 » 250		1,45		1,85
» 250 » 400	20'	2,30	20'	2,30
» 400 » 630		3,65		3,65
» 630 » 1000		5,80		5,80
» 1000 » 1600		9,30		9,30
» 1600 » 2500		14,50		14,50

Полученные припуски на обработку и уклоны следует обозначить определённым образом на чертеже отливки, совмещённом с чертежом детали (правила обозначения приведены ниже) и с их учётом рассчитать размеры отливки. Для полученных размеров следует установить допуски на размеры и также указать их на чертеже.

4.3 Разработка чертежа отливки

Чертёж отливки является основным конструкторско-технологическим документом, на основе которого впоследствии выполняют чертежи модели, элементов литниковой системы, прибылей, выпоров, проб для механических испытаний и т. д., осуществляют выбор опок.

При разработке чертежа отливки учитывают выполненный ранее анализ технологичности детали, на основе которого в её конфигурацию могут быть внесены изменения.

Допускается графический документ на отливку изображать на учтённой копии чертежа детали, при этом элементы отливки следует выполнять красным цветом. В серийном и массовом производстве при выполнении графических элементов литейных форм и отливок на копии чертежа детали над основной надписью или на свободном поле чертежа проставляют *дополнительный штамп*. Для этого случая обозначение документа, подписи разработчика отливки, нормоконтролера и другие данные следует указывать в соответствии с Приложением 2 ГОСТ 3.1125–88.

Выполнение чертежа отливки и нанесение технологических указаний начинают с обозначения плоскости разъёма и определения положения отливки в форме. Плоскость разъёма на чертеже детали обозначают отрезком линии либо штрихпунктирной линией, на концах которой с толщиной линий равной двойной толщине основной линии чертежа указывают знаки **X— —X**, а над ней – буквенное обозначение разъёма модели и формы МФ (если они совпадают, рис. 4.3). При

выполнении формы по неразъёмной модели обозначают лишь положение плоскости разъёма формы (Φ , рис. 4.4), причём разъём формы и модели сложных отливок показывают на минимально необходимом числе изображений, достаточном для определения разъёма.

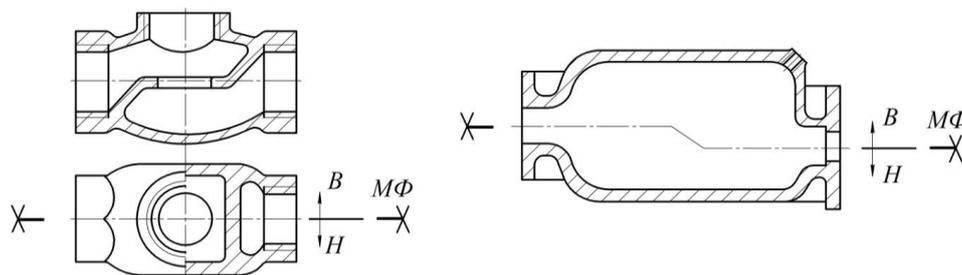


Рисунок 4.3 – Обозначение плоскости разъёма на чертеже отливки

Если для изготовления отливки модель и форму необходимо выполнить с несколькими плоскостями разъёма, каждый разъём показывают отдельно (рис. 4.5).

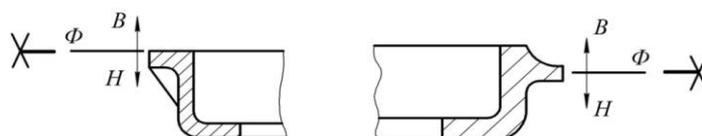


Рисунок 4.4 – Обозначение плоскости разъёма при использовании неразъёмной модели

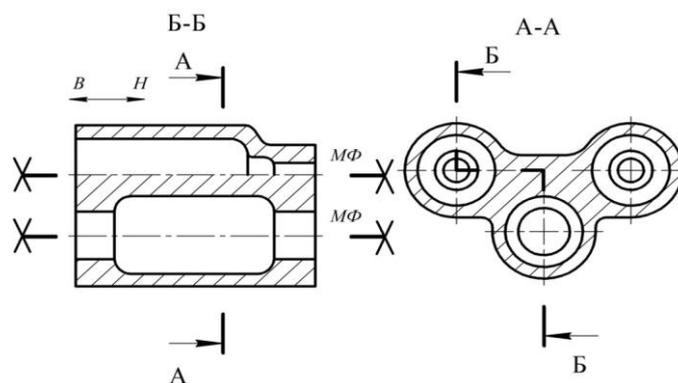


Рисунок 4.5 – Обозначение нескольких плоскостей разъёма

Положение отливки в форме при заливке обозначают буквами B (верх) и H (низ). Буквы проставляют у стрелок, показывающих направление разъёма формы. Расположение отливки в форме при заливке металлом отражается на качестве отдельных частей и поверхностей детали. При этом выбранное положение отливки в форме

должно быть удобным не только для заливки, но и для расположения прибылей, выполнения формовки, установки стержней, сборки форм.

Важным этапом выполнения чертежа отливки является нанесение припусков на механическую обработку и технологических напусков.

В процессе разработки чертежа отливки оценивают возможности различных способов её изготовления. При этом учитывают ограничения, которые не всегда позволяют изготовить отливку, которая соответствует конфигурации детали. Эти ограничения относятся к отверстиям малого диаметра, впадинам, выступам, поднутрениям, полостям, выточкам, фаскам, зубьям колёс, шлицам, резьбе и другим элементам детали, которые могут быть получены при использовании как обработки резанием, так и специальных методов обработки. Подобные элементы на чертеже отливки оформляют в виде напусков, а сами элементы перечеркивают сплошной тонкой линией так, как показано на рисунке 4.6.

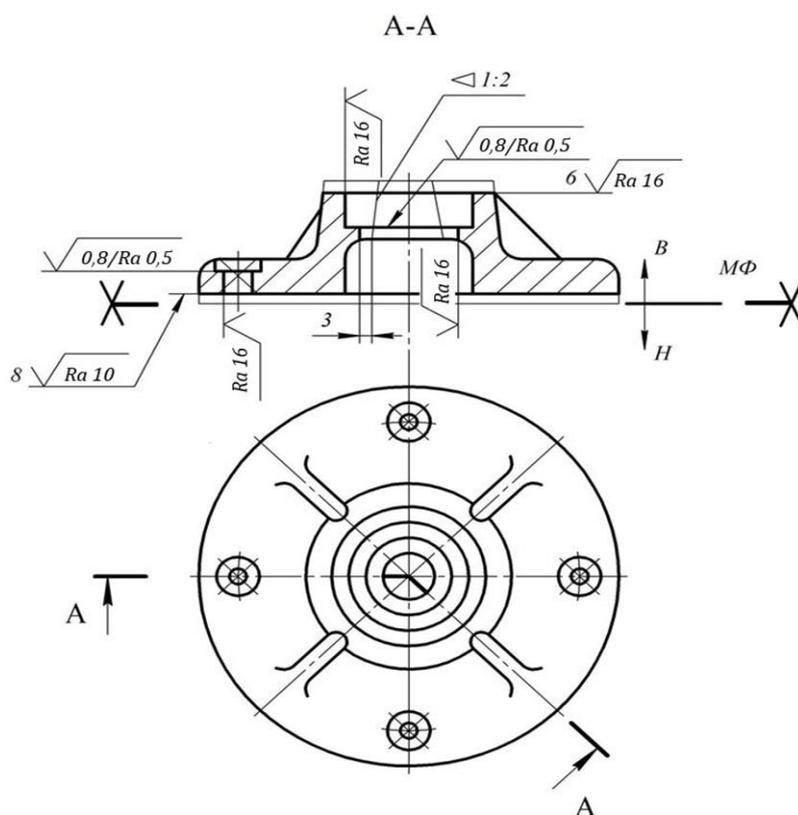


Рисунок 4.6 – Правила обозначения припусков и напусков

Припуск – слой металла в заготовке, предназначенный для удаления механической обработкой с целью получения заданной формы и размеров готовой детали с требуемым качеством обработанной поверхности. При механической обработке с припуском должны быть убраны все дефекты поверхностного слоя отливки.

Припуски на механическую обработку изображают сплошной тонкой линией. Допускается выполнять линию припуска красным цветом. Величину припуска на механическую обработку указывают цифрой перед знаком шероховатости поверхности детали или величиной уклона и линейными размерами.

Допускается при несложных отливках припуски на механическую обработку не изображать, а указывать только величину припуска цифрой (рис. 4.7).

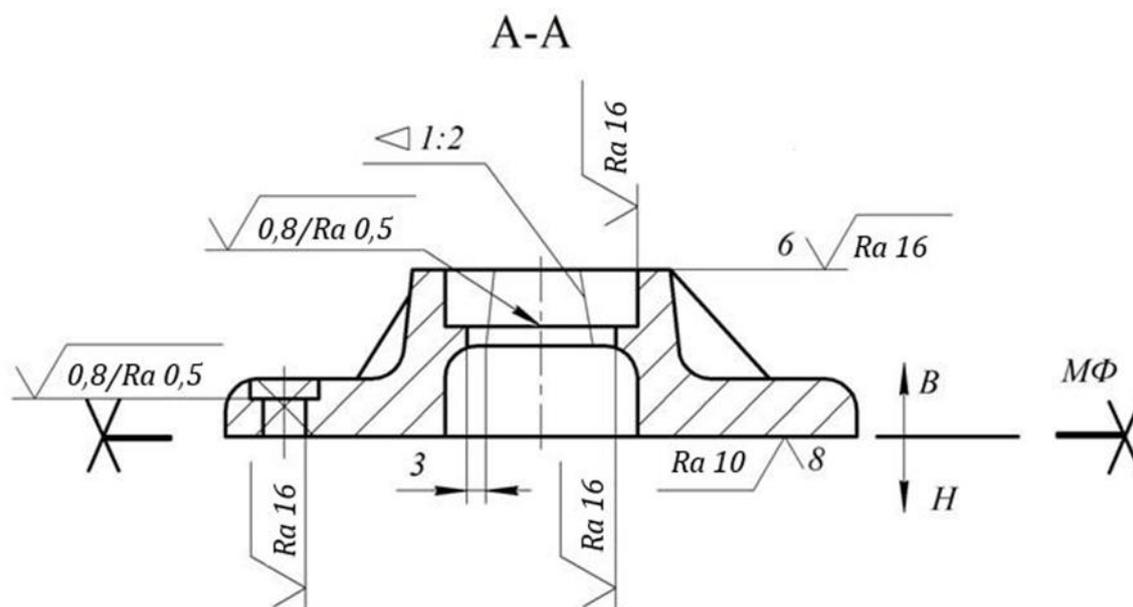


Рисунок 4.7 – Правила обозначения припусков на отливках простой формы

При выполнении некоторых элементов отливок назначают такие технологические напуски, которые позволяют получить качественные элементы конфигурации детали.

Напусками называют технологические припуски, которые устанавливают на номинальные размеры отливки для упрощения ее конфигурации или устранения местных углублений, поднутрений, переходов, отверстий, уступов. На чертеже отливки контур напуска изображают сплошной основной линией. Без таких напусков в деталях может появиться брак на стадии механической либо других видов обработки. Технологический припуск указывают цифрой со знаком плюс (+) или минус (-) и буквой **Т** (технологический припуск) и проставляют на продолжении размерной линии или на полке линии-выноски, если нельзя разместить надпись и цифру на продолжении размерной линии (рис. 4.8). Припуски на обработку и технологические напуски обозначают на чертежах отдельно.

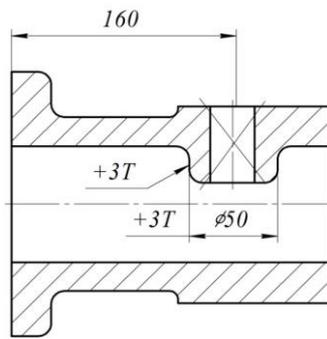


Рисунок 4.8 – Правила обозначения технологических напусков

К напускам также относятся усадочные рёбра, стяжки, технологические приливы для крепления отливки при термообработке и транспортировке, а также пробы для проведения механических испытаний или металлографических исследований (рис. 4.9 а–б). Назначение отливаемой пробы указывают на полке линии-выноски соответствующей надписью. При изображении стандартизованных проб на полке линии-выноски указывают их условное обозначение. Размеры в этом случае на изображении не наносят.

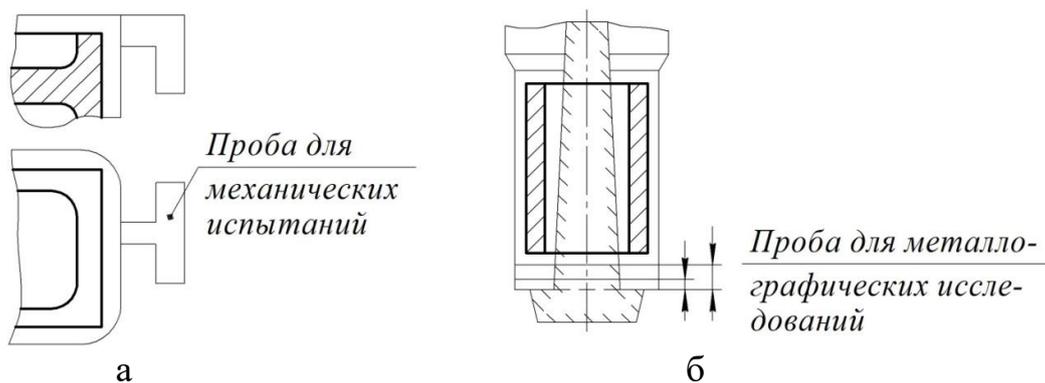


Рисунок 4.9 – Обозначение проб для проведения: а – испытаний механических свойств; б – металлографических исследований

Усадочные рёбра, стяжки, галтели, пробы и технологические приливы изображают в масштабе изображения детали сплошной тонкой линией (рис. 4.10), которую допускается выполнять красным цветом.

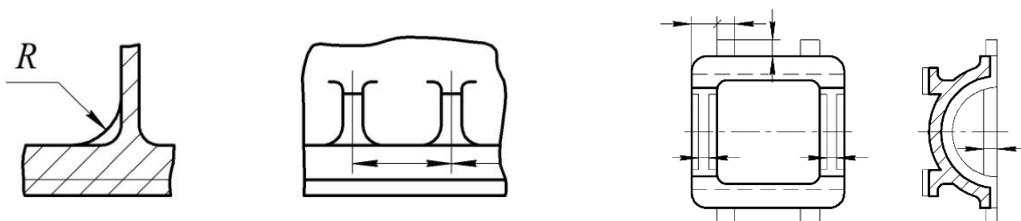


Рисунок 4.10 – Изображение галтелей, усадочных рёбер, приливов

Выполнение предыдущего этапа позволяет приступить к оформлению модельно-литейных указаний, которые используют впоследствии для проектирования элементов модельной оснастки (модели, стержневых ящиков, прибылей, элементов литниковой системы и т. д.). Перечисленные элементы применяют при выполнении операций изготовления разовых форм. К элементам литейно-модельных указаний относят стержни, их знаки и фиксаторы, стержни-перемычки, разделительные диафрагмы легкоотделяемых прибылей и знаки модели. Их изображают в масштабе чертежа сплошной тонкой линией (рис. 4.11), которую допускается выполнять синим цветом. На чертеже указывают плоскость разъёма стержневого ящика, направление набивки стержней и направление вывода газов (ВГ). Размеры этих элементов приведены на рисунке 4.12 а–в. При изображении стандартизованных стержней-перемычек и диафрагм их условное изображение указывают на полке линии-выноски. Размеры в этом случае на изображении не наносят. Стержни обозначают буквами *ст.* и рядом указывают порядковый номер стержня, определяемый последовательностью его установки в форму.

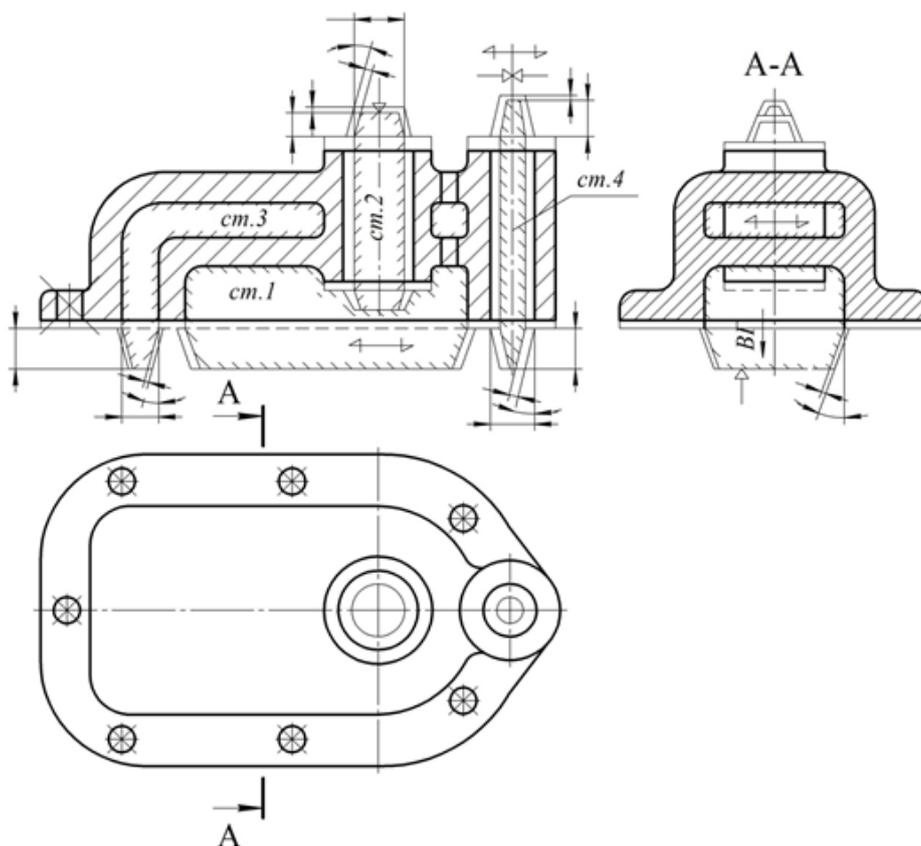


Рисунок 4.11 – Нанесение модельно-литейных указаний на чертеже детали

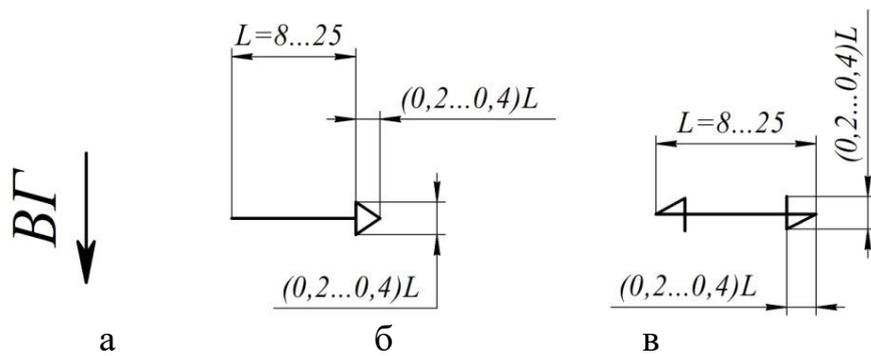


Рисунок 4.12 – Размеры элементов модельно-литейных указаний:
 а – для выхода газов; б – направления набивки стержневого ящика;
 в – обозначения плоскости разъёма стержневого ящика

Размеры знаковых частей определяют в зависимости от положения стержней в форме. Стержни могут быть горизонтальными и вертикальными (рис. 4.13–4.14).

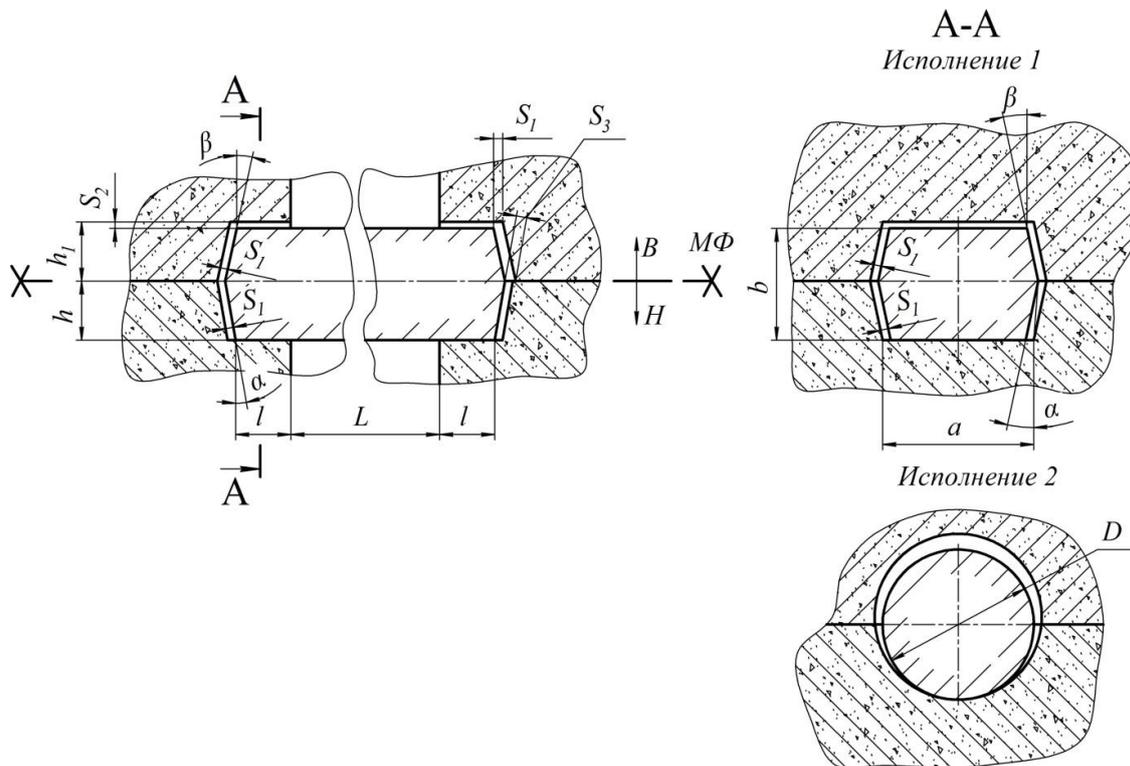


Рисунок 4.13 – Горизонтальные стержни и их знаки

Размеры знаковых частей, уклонов и технологических зазоров определяют по данным таблиц ГОСТ 3212–92.

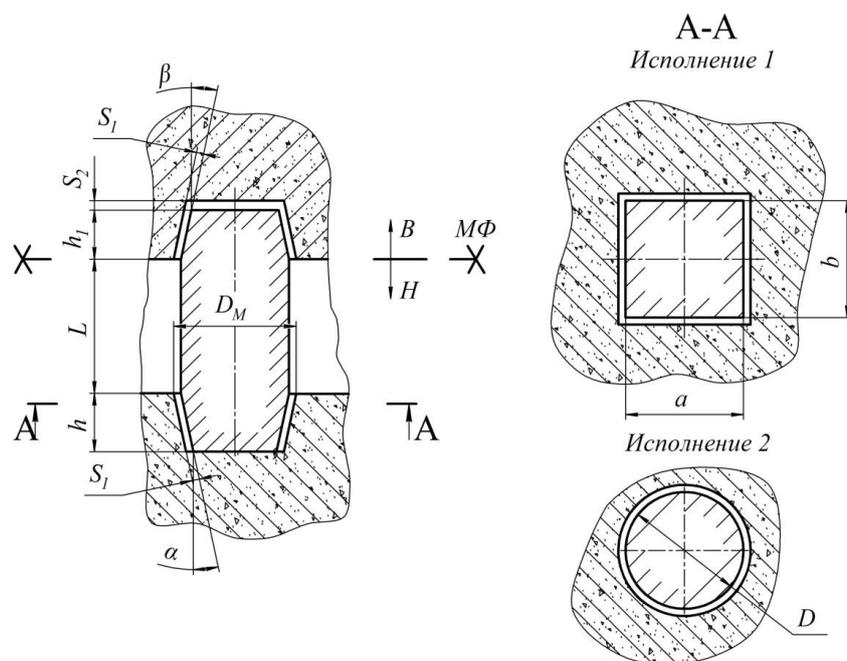


Рисунок 4.14 – Вертикальные стержни и их знаки

Длина горизонтальных знаков l должна соответствовать следующим значениям:

- для форм «по-сырому» влажностью выше 2,8 % – в таблице, приведенной в Приложении 3 ГОСТ 3212;
- для форм «по-сухому» влажностью ниже 2,8 % – в таблице, приведенной в Приложении 4 ГОСТ 3212;
- для форм, твердеющих в контакте с оснасткой – в таблице, приведенной в Приложении 5 ГОСТ 3212.

Длина горизонтальных знаков, при выполнении в них элементов литниковой системы, может быть увеличена по сравнению со значениями, указанными в приведенных выше таблицах, в зависимости от конструкции применяемой литниковой системы. При количестве знаков стержня более двух их длину уменьшают на 30–50 % по сравнению с указанными в таблицах значениями, причем аналогичным образом назначают длину знаков грибообразного стержня (ГОСТ 3212–92) с увеличенной по диаметру в 1,5–2 раза верхней знаковой частью. При формообразовании полостей могут быть использованы консольные стержни (ГОСТ 3212–92). Длину знака консольного стержня можно увеличивать до длины выступающей части самого стержня.

Высоту нижних вертикальных знаков для всех видов смесей следует назначить в соответствии с таблицей, приведенной в Приложение 6 ГОСТ 3212.

Высоту верхнего вертикального знака следует принимать не менее 0,5 от высоты нижнего знака.

При соотношениях L/D или $2L/(a+h) \geq 5$ нижний знак рекомендуется выполнять так, как показано на рисунке 4.15.

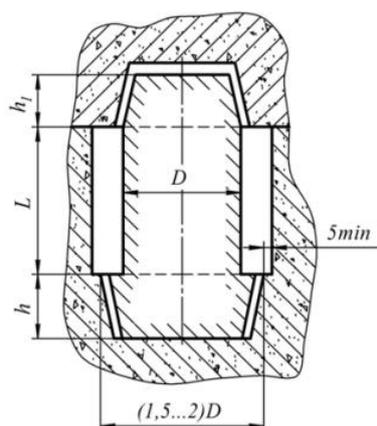


Рисунок 4.15 – Вариант выполнения нижнего знака вертикального стержня

Уклоны на нижних и верхних знаковых поверхностях модельного комплекта должны соответствовать значениям, указанным в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Уклоны на знаковых поверхностях

Высота знака h или h_1 , мм	Уклон знаков					
	Модельного комплекта				Модели	
	для низа α		для верха β		α_1	
		мм		мм		мм
До 40	10°00'	4,5	15°00'	8,2	4°00'	2,0
Св. 40 » 63	7°00'	5,5	10°00'	9,0	3°00'	2,5
» 63 » 100	6°00'	8,5	8°00'	11,7	2°00'	2,7
» 100 » 160	5°00'	11,5	6°00'	16,0	1°00'	3,2
» 160 » 250	5°00'	14,0	6°00'	19,0	45'	3,6
» 250 » 400	5°00'	17,0	6°00'	23,0	–	–
» 400 » 630	4°00'	21,0	5°00'	27,5	–	–
» 630 » 1000	3°00'	25,0	4°00'	32,2	–	–
» 1000	2°30'	–	3°00'	–	–	–

Следует учитывать, что между знаками стержня и формы должны выполняться технологические зазоры, которые предотвращают разрушение стержня в результате его расширения, протекающего после заливки в форму расплавленного металла. При определении размеров знаковых частей моделей следует учитывать класс точности модельного комплекта, материал, из которого он изготовлен, габариты стержня и вид формовки.

Класс точности модельного комплекта назначают в соответствии с таблицей 4.13.

Таблица 4.13 – Классы точности модельных комплектов

Класс точности отливок по ГОСТ 26645	Класс точности модельного комплекта
4, 5Г	1
5, 6	2
7, 7Г	3
8, 9Г	4
9, 10	5
11Г, 11	6
12, 13Г	7
13, 14	8
15, 16	9

Значения технологических зазоров S_1 и S_2 (рис. 4.13–4.14) должны соответствовать значениям, приведенным в соответствующих таблицах ГОСТ 3212:

- для модельного комплекта 1 и 3 классов точности, изготовленного из металла и пластмассы, – в таблице 4.14;
- для модельного комплекта 7–9 классов точности, изготовляемого из металла, пластмассы, и 1–3 классов точности, изготовляемого из дерева, – в таблице 4.15;
- для модельного комплекта 4–6 классов точности, изготовляемого из дерева, – в таблице 4.16;
- для модельного комплекта 7–9 классов точности, изготовляемого из дерева – в таблице 4.17.

Значение зазора S_3 принимают равным $1,5S_1$.

Таблица 4.14 – Значения технологических зазоров для модельного комплекта 1 и 3 классов точности

Высота знака h или h_1	Зазор S_1 (S_2) при длине стержня											
	До 40	Св. 40 до 63	Св. 63 до 100	Св. 100 до 160	Св. 160 до 250	Св. 250 до 400	Св. 400 до 630	Св. 630 до 1000	Св. 1000 до 1600	Св. 1600 до 2500	Св. 2500 до 4000	Св. 4000
До 25	0,2	0,3		0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,2	1,6	2,0	
Св. 25 » 40	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,7	0,8	1,0	1,5	1,7	2,1
» 40 » 63												
» 63 » 100	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,6	1,8	2,2	
» 100 » 160												
» 160 » 250	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,7	2,0	2,3	
» 250 » 400												
» 400 » 630	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,8	2,1	2,5	
» 630 » 1000												
» 1000 » 1600	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,8	2,1	2,5		
» 1600 » 2500												
» 2500 » 4000	1,2	1,2	1,4	1,6	1,6	1,8	2,0	2,2	2,6	3,0		
» 4000												
	(0,3)	(0,4)	(0,5)	(0,6)	(0,8)	(1,0)	(1,4)	(2,0)	(2,6)	(3,3)		

Таблица 4.15 – Значения технологических зазоров для модельного комплекта 7–9 классов точности (из пластмассы и дерева) и 1–3 классов точности (из дерева)

Высота знака h или h_1	Зазор $S_1 (S_2)$ при длине стержня, мм											
	До 40	Св. 40 до 63	Св. 63 до 100	Св. 100 до 160	Св. 160 до 250	Св. 250 до 400	Св. 400 до 630	Св. 630 до 1000	Св. 1000 до 1600	Св. 1600 до 2500	Св. 2500 до 4000	Св. 4000
До 25	0,3	0,4		0,5	0,6	0,7		1,1	1,4	1,9	2,7	3,3
Св. 25 » 40	0,4	0,5		0,6	0,7	0,8	0,8	1,3	1,6			
» 40 » 63			0,6									
» 63 » 100	0,5	0,6		0,7	0,8	0,9				2,2	3,0	3,5
» 100 » 160			0,7			1,0	1,0					
» . 160 » 250	0,6	0,7		0,8	0,9				1,7			
» 250 » 400			0,8				1,1	1,4		1,8	2,3	3,2
» 400 » 630	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,1				2,4	3,3	3,7
» 630 » 1000»	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,6	1,9	2,5	3,3	4,0	
1000 » 1600	0,9	1,0			1,3	1,5	1,7	2,1	2,8	3,5		
» 1600 » 2500	1,2	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,3	3,0			3,8	4,5
» 2500 » 4000	1,5	1,7		2,0	2,3	2,0	2,5	3,2				
» 4000	1,8	2,0		2,3	2,5	2,7	3,0	3,8	4,0	5,0		
	(0,5)	(0,6)	(0,7)	(0,8)	(0,9)	(1,0)	(1,3)	(1,7)	(2,3)	(3,2)	(4,3)	(5,2)

Таблица 4.16 – Значения технологических зазоров для модельного комплекта 4–6 классов точности, изготавливаемого из дерева

Высота знака h или h_1	Зазор $S_1 (S_2)$ при длине, мм											
	До 40	Св. 40 до 60	Св. 63 до 100	Св. 100 до 160	Св. 160 до 250	Св. 250 до 400	Св. 400 до 630	Св. 630 до 1000	Св. 1000 до 1600	Св. 1600 до 2500	Св. 2500 до 4000	Св. 4000
До 25	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,3	1,7	2,3	3,3	4,3	5,2
Св. 25 » 40	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,6	1,9	2,5		4,5	5,5
» 40 » 63								2,0	2,6	3,5	4,6	
» 63 » 100						1,5	1,7					5,6
» 100 » 160	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3			2,1	2,7	3,8	4,7	
» 160 » 250	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8	2,3	2,9	3,9		5,7
» 250 » 400	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5		1,9				4,8	5,8
» 400 » 630	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0	2,4	3,0	4,0	5,0	5,9
» 630 » 1000	1,4		1,6	1,7	1,8	1,4	2,2	2,6		4,1	5,2	6,0
» 1000 » 1600	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,5	2,8	3,8	4,3	5,4	6,4
» 1600 » 2500	2,1	2,2		2,3	2,5	2,6	3,0	3,2		4,8	6,0	6,8
» 2500 » 4000	2,5		2,7		3,0	3,2	3,8	4,4	5,3			7,5
» 4000	3,0		3,3		3,5	3,6	4,0	4,4	4,8	5,8	6,4	8,0
	(0,8)	(0,9)	(1,1)	(1,2)	(1,4)	(1,7)	(2,1)	(2,7)	(3,6)	(5,1)	(6,7)	(8,2)

Таблица 4.17 – Значения технологических зазоров для модельного комплекта 7–9 классов точности (из дерева)

Высота знака h или h_1	Зазор S_1 (S_2) при длине стержня, мм												
	До 40	Св. 40 до 63	Св. 63 до 100	Св. 100 до 160	Св. 160 до 250	Св. 250 до 400	Св. 400 до 630	Св. 630 до 1000	Св. 1000 до 1600	Св. 1600 до 2500	Св. 2500 до 4000	Св. 4000	
До 25	0,8	0,9	1,1	1,2	1,4	1,7	2,1	2,7	3,5	5,0	6,5	8,0	
Св. 25 » 40	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	2,1	2,5	3,0	4,0		5,7	7,3	8,5
» 40 » 63	1,3	1,4	1,6	1,7	1,9	2,2	2,6			3,1			4,3
» 63 » 100		1,5		1,8	2,0			2,3	2,7		3,4	4,4	
» 100 » 160	1,4	1,6	1,7	1,9	2,1	2,3	2,7	3,1	3,6	4,6	6,1	7,8	9,3
» 160 » 250	1,5	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,8	3,4	4,6	6,1	7,8	9,3	
» 250 » 400	1,7	1,8	2,0	2,1	2,3	2,6	3,0		4,4	5,9	7,6	9,0	
» 400 » 630	1,9	2,0	2,2	2,3	2,5	2,7	3,2	3,6	4,8	6,3	8,0	9,4	
» 630 » 1000	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	3,0	3,4	3,8	5,3	6,8	8,5	9,5	
» 1000 » 1600	2,4	2,5	2,8	3,3		3,8		4,3	6,0	7,5	9,2	10,6	
» 1600 » 2500	3,3	3,4	3,5	3,7	3,9	4,2	4,5	5,1	6,8	8,3	10,0	11,5	
» 2500 » 4000	4,0		4,5			5,0	5,5	5,7	6,8	8,3	10,0	11,5	
» 4000	5,0				5,5	5,7	6,0	6,8	7,5	9,0	10,5	12,0	
	(1,2)	(1,5)	(1,7)	(2,0)	(2,3)	(2,7)	(3,3)	(4,3)	(5,7)	(8,1)	(10,5)	(13,0)	

Графическое изображение отливки для её производства должно быть выполнено на карте эскизов в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД и ГОСТ 3.1125–88 «Правила графического выполнения элементов литейных форм и отливок». Фрагмент чертежа представлен на рисунке 4.16.

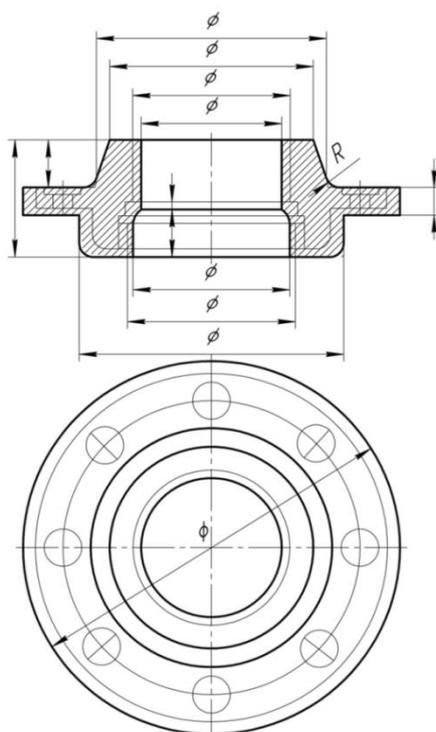


Рисунок 4.16 – Фрагмент чертежа отливки

Внутренний контур обрабатываемых поверхностей, а также отверстий, впадин и выточек, не выполняемых в литье, изображают сплошной тонкой линией.

На чертеже отливки следует привести шероховатость поверхностей отливки после её изготовления соответствующим способом. Выбор шероховатости выполняют по таблице 4.18 в зависимости от степени точности поверхности отливки.

На чертеже отливки следует указывать измерительные базы и базы первоначальной обработки поверхностей.

Таблица 4.18 – Соответствие между шероховатостью и степенями точности поверхностей отливок

Шероховатость поверхности	Значение шероховатости для степеней точности поверхности отливки, мкм										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Среднее арифметическое отклонение профиля Ra, мкм, не более	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0	20,0
Высота неровностей профиля Rz, мкм, не более	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Шероховатость поверхности	Значение шероховатости для степеней точности поверхности отливки, мкм										
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Среднее арифметическое отклонение профиля Ra, мкм, не более	25,0	32,0	40,0	50,0	60,0	80,0	100,0	–	–	–	–
Высота неровностей профиля Rz, мкм, не более	–	–	–	–	–	–	–	500	600	800	1000

В технических требованиях на чертеже отливки или детали должны быть указаны нормы точности отливки. Их приводят в следующем порядке: класс размерной точности, степень коробления, степень точности и шероховатости поверхностей, класс точности массы и допуск смещения по плоскости разъёма.

Пример условного обозначения отливки 8-го класса размерной точности, 5-й степени коробления, 4-й степени точности поверхностей, 7-го класса точности массы с допуском смещения 0,8 мм.

Точность отливки 8–5–4–7 см. 0,8 ГОСТ 26645–85.

В технических требованиях чертежей отливки или детали с нанесенными размерами отливки должны быть указаны в следующем

порядке: значение номинальных масс детали, припусков на обработку, технологических напусков и массы отливки.

Пример обозначения номинальных масс, равных для детали 20,35 кг, для припусков на обработке 3,15 кг, для технологических напусков 1,35 кг, для отливки 24,85 кг.

Масса 20,35–3,15–1,35–24,85 ГОСТ 26645–85

В технических требованиях на чертеже отливки, кроме перечисленных выше, указывают допуски неровностей поверхностей отливки, допуски массы в соответствии с таблицами 4.19–4.20, приводят её твердость после кристаллизации металла в форме, точность неотчетливых поверхностей, обозначают базы для обработки на первой технологической операции.

Таблица 4.19 – Допуски неровностей поверхностей отливок

Допуск неровностей поверхностей отливки, мм, не более, для степеней точности поверхностей отливки																					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
0,05	0,06	0,08	0,1	0,12	0,16	0,2	0,24	0,32	0,4	0,5	0,64	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4

Таблица 4.20 – Допуски массы отливок

Номинальная масса отливки, кг	Допуск массы отливки %, не более, для классов точности массы отливки											
	1	2	3т	3	4	5т	5	6	7т	7	8	
До 0,1	1,6	2	2,4	3,2	4	5	6,4	8	10	12	16	
Св. 0,1 » 0,4	1,2	1,6	2	2,4	3,2	4	5	6,4	8	10	12	
» 0,4 » 1,0	1	1,2	1,6	2	2,4	3,2	4	5	6,4	8	10	
» 1,0 » 4,0	–	1	1,2	1,6	2	2,4	3,2	4	5	6,4	8	
» 4,0 » 10,0	–	–	1	1,2	1,6	2	2,4	3,2	4	5	6,4	
» 10,0 » 40,0	–	–	–	1	1,2	1,6	2	2,4	3,2	4	5	
» 40,0 » 100,0	–	–	–	–	1	1,2	1,6	2	2,4	3,2	4	
» 100,0 » 400,0	–	–	–	–	–	1	1,2	1,6	2	2,4	3,2	
» 400,0 » 1000,0	–	–	–	–	–	–	1	1,2	1,6	2	2,4	
» 1000,0 » 4000,0	–	–	–	–	–	–	–	1	1,2	1,6	2	
» 4000,0 » 10000,0	–	–	–	–	–	–	–	–	1	1,2	1,6	
» 10000,0 » 40000,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	1,2	
» 40000,0 » 100000,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	
» 100000,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	

Номинальная масса отливки, кг	Допуск массы отливки %, не более, для классов точности массы отливки											
	9т	9	10	11т	11	12	13т	13	14	15	16	
До 0,1	20	24	32	–	–	–	–	–	–	–	–	
Св. 0,1 » 0,4	16	20	24	32	–	–	–	–	–	–	–	
» 0,4 » 1,0	12	16	20	24	32	–	–	–	–	–	–	
» 1,0 » 4,0	10	12	16	20	24	32	–	–	–	–	–	
» 4,0 » 10,0	8	10	12	16	20	24	32	–	–	–	–	
» 10,0 » 40,0	6,4	8	10	12	16	20	24	32	–	–	–	
» 40,0 » 100,0	5	6,4	8	10	12	16	20	24	32	–	–	
» 100,0 » 400,0	4	5	6,4	8	10	12	16	20	24	32	–	

Окончание таблицы 4.20

» 400,0 » 1000,0	3,2	4	5	6,4	8	10	12	16	20	24	32
» 1000,0 » 4000,0	2,4	3,2	4	5	6,4	8	10	12	16	20	24
» 4000,0 » 10000,0	2	2,4	3,2	4	5	6,4	8	10	12	16	20
» 10000,0 » 40000,0	1,6	2	2,4	3,2	4	5	6,4	8	10	12	16
» 40000,0 » 100000,0	1,2	1,6	2	2,4	3,2	4	5	6,4	8	10	12
» 100000,0	1	1,2	1,6	2	2,4	3,2	4	5	6,4	8	10

4.4 Характеристики отливок и применяемых способов литья

Для изготовления отливок в точном машиностроении нашли применение следующие основные способы литья: в песчаные формы (П), в кокиль (К), в оболочковые формы (О), по выплавляемым моделям (В), под давлением (Д), центробежное (Ц). Каждый из перечисленных способов литья в соответствии со своей спецификой имеет достоинства и недостатки.

Рекомендуемые области применения наиболее распространённых способов литья для отливок точного машиностроения приведены в таблице 4.21.

Таблица 4.21 – Области применения и сравнительные показатели различных способов литья

Способ литья	Параметры отливки			Выход годного	Коэффициент использования металла заготовки	Относительная себестоимость 1 т отливок	Экономически оправданная серийность, шт.	Основное преимущество способа литья
	Масса, кг	Максимальный размер	Минимальная толщина стенки					
		мм		%				
П	До 250000	Без ограничений	5	30–50	60–70	1	Без ограничений	Универсальность, низкая стоимость отливок
К	» 2000	До 2000	2,2	40–60	75–80	1,2–1,5	400–800	Повышенная точность отливок при улучшенной структуре
В	» 100	»1000	1,5	30–60	90–95	2,5–3,0	1000	Точность отливок при сложной конфигурации

Окончание таблицы 4.21

Д	» 50	»1200	1	50–65	90–95	1,8–2,0	1000	Высокая производитель- ность, точность отливок
Ц	» 40000	»6000	5	90–100	70–90	0,6–0,7	100–1000	Высокая производитель- ность
О	До 30	До 500	3	50–60	80–95	1,5–2,0	200–500	Высокая точность отливок

4.5 Технологичность заготовок, изготовляемых литьём в песчаные формы

Технологические требования к конструкции литых заготовок предусматривают:

- простые прямолинейные контуры, облегчающие изготовление оснастки и самих отливок;

- рациональную толщину стенок в различных сечениях, обеспечивающих хорошую заполняемость форм металлом без образования дефектов;

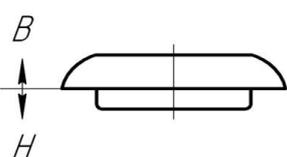
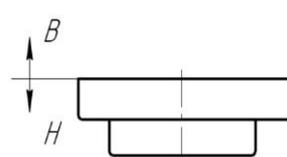
- рациональные формы различных переходов, сопряжений, рёбер жесткости и других конструктивных элементов, способствующих снижению внутренних напряжений и усадочных раковин;

- конструктивные уклоны поверхностей, обеспечивающие извлекаемость модельной оснастки.

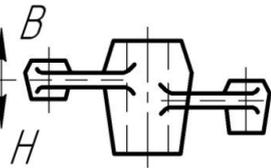
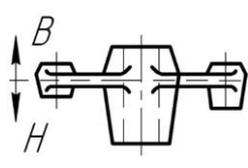
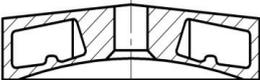
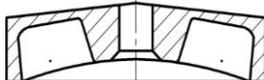
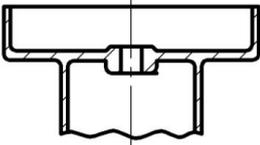
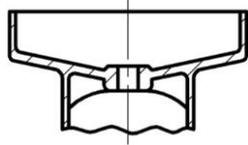
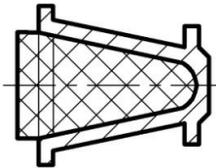
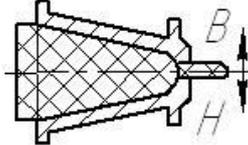
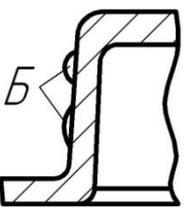
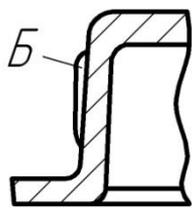
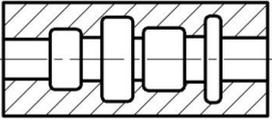
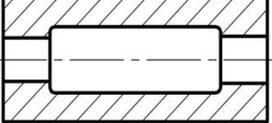
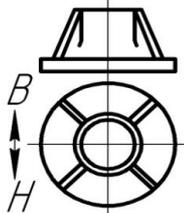
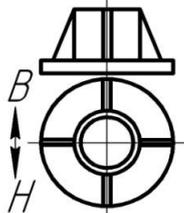
Литые заготовки не должны иметь выступающих частей, тонкостенных рёбер, глубоких впадин, закрытых полостей (поднутрений).

Основные требования к литым заготовкам приведены в таблице 4.22.

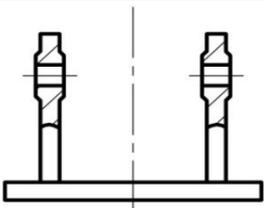
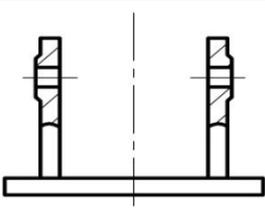
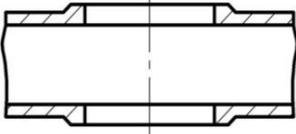
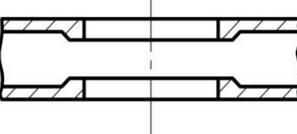
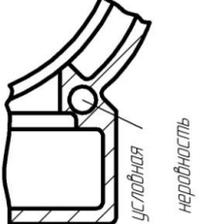
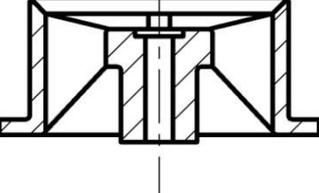
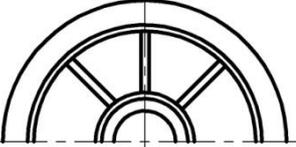
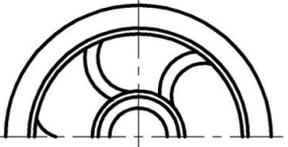
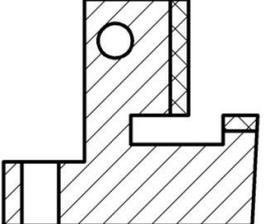
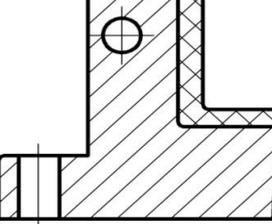
Таблица 4.22 – Требования к литым заготовкам

Рациональные условия конструирования и изготовления заготовок	Схема конструкции	
	неправильная	правильная
Для деталей простой конфигурации модель должна быть неразъёмной и расположенной в одной полуформе		

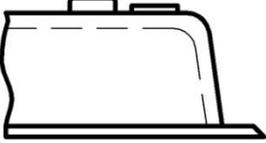
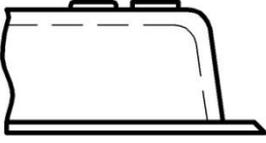
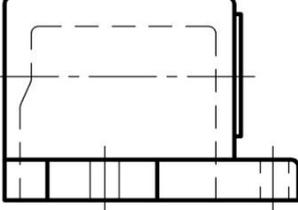
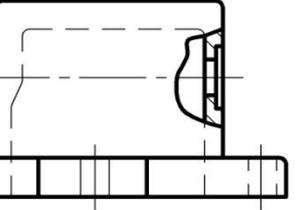
Продолжение таблицы 4.22

Рациональные условия конструирования и изготовления заготовок	Схема конструкции	
	неправильная	правильная
Для упрощения изготовления модели и формы разъем модели следует осуществлять в одной плоскости с плоскостью разъема формы		
Внутренние полости литых заготовок желательно выполнять без стержней – открытыми и без поднутрений		
Верхние (по положению при заливке) горизонтальные поверхности следует заменять наклонными во избежание газовых раковин и других включений		
При оформлении внутренней полости стержнем он должен крепиться в обоих концах		
Выступающие на поверхности детали бобышки Б, которые в моделях выполняются отъемными, следует объединять и соединять с выступающей неотъемной частью		
При оформлении внутренней полости стержнем ей следует придавать простейшие очертания – без поперечных перегородок и глубоких впадин		
При необходимости усилить деталь ребрами жесткости их следует располагать в плоскости разъема формы или перпендикулярно к ней во избежание применения отъемных частей		

Продолжение таблицы 4.22

Рациональные условия конструирования и изготовления заготовок	Схема конструкции	
	неправильная	правильная
Бобышки на стенках заготовки, подлежащие сверлению, необходимо располагать с одной стороны, учитывая их возможность смещения относительно оси		
При оформлении внутренней полости стержнем и наличии с наружной стороны бобышек и приливов целесообразно переносить их на внутреннюю поверхность и выполнять стержнем		
Стенкам литых заготовок необходимо придавать равномерные сечения во избежание образования усадочных раковин, рыхлот и других дефектов		
Особое внимание следует обращать на соблюдение принципа направленного затвердевания		
Заготовки должны иметь компактную конфигурацию и по возможности небольшие габариты (особенно по высоте)		
В конструкциях крупных шестерен, шкивов и маховиков во избежание образования трещин нужно применять изогнутые спицы		
Обрабатываемые взаимно перпендикулярные поверхности не должны быть близко расположены, так как припуски П на обработку создают участки, невыполнимые при обработке		

Окончание таблицы 4.22

Рациональные условия конструирования и изготовления заготовок	Схема конструкции	
	неправильная	правильная
Если на поверхности заготовки имеются обрабатываемые бобышки, то их следует располагать на одном уровне с тем, чтобы они обрабатывались на проход		
Бобышки и приливы, расположенные на наружных стенках и подлежащие обработке, рекомендуется заменять выточками, если это допустимо при заданной толщине тела отливки		

Переходы и углы сопряжения стенок должны обеспечить получение отливок без усадочных раковин, пористости и трещин. Это достигается за счёт обеспечения плавных переходов от тонких сечений к сечениям большей толщины и правильных сопряжений (рис. 4.17).

При правильно сконструированной детали отношение толщины стенок от одного сечения к другому должно быть не больше 4 (рис. 4.17 а). При соотношении сопрягаемых толщин $S/S_1 \leq 2$ переходы от одного сечения к другому выполняются с помощью галтелей (рис. 4.17 б). Радиус закругления галтелей принимают равным $r = 0,3(S-S_1)$. Такое же значение радиуса принимают для деталей $S/S_1 > 2$, которые не испытывают ударных нагрузок. Если деталь подвергается ударным нагрузкам, то при отношении $S/S_1 > 2$ переходы выполняются в виде клинового сопряжения (рис. 4.17 в). Длину участка перехода от одной толщины к другой принимают равной $l = 4h$. Если соотношение между S и S_1 (рис. 4.17 г) имеет большое значение, то переход к тонкому сечению осуществляется на длине участков, которую принимают

$$l \geq 3 \left(\frac{S \cdot l_1}{S} + l_1 + \frac{S_2 \cdot l_2}{S_1} + l_2 \right), \quad (4.1)$$

где пояснения величин, входящих в формулу приведены на рисунке 4.17 а–г.

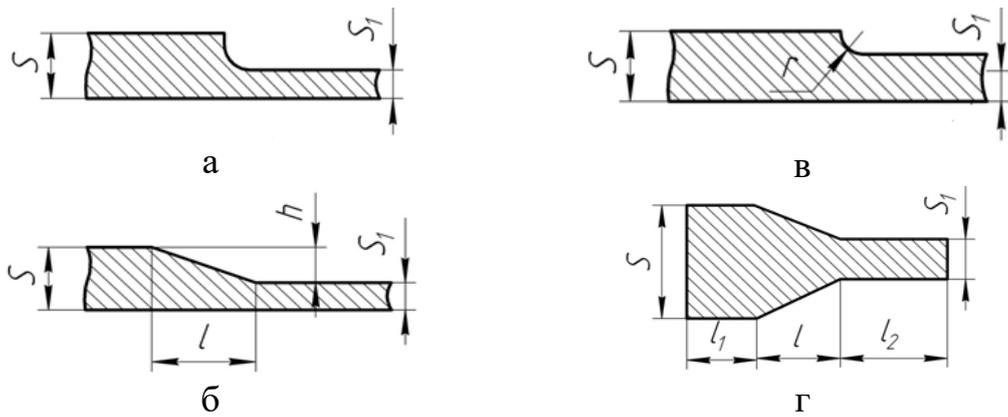


Рисунок 4.17 – Виды переходов от толстого сечения к тонкому в зависимости от соотношения толщины стенок:
 а – $S/S_1 < 4$; б – $S/S_1 \leq 2$; в – $S/S_1 > 2$; г – $S \gg S_1$

Параметры угловых (L -образных) и тавровых сопряжений приведены в таблицах 4.23, 4.24.

Важным элементом рациональной конструкции отливки являются сопряжения стенок и рёбер, выполняемые в виде галтелей. Радиус этих элементов для чугуновых отливок может быть определён на основе данных, показанных на рисунке 4.18.

Пересечение рёбер жесткости и стенок отливки

Вводимые для усиления конструкции литых деталей рёбра жесткости создают местные скопления металла, вызывающие образование усадочных раковин и трещин. При конструировании деталей необходимо стремиться к максимальной разгрузке узлов скопления металла. С этой целью рекомендуется: X -образные пересечения заменять T -образными; соединять рёбра со стенками отливок под прямым углом; применять рациональные формы шахматного, кольцевого, K - и H -образных пересечений (рис. 4.19). В случае пересечения в одной точке нескольких рёбер рекомендуется выполнять кольцевое ребро и уже к нему присоединять радиальные ребра.

Встречающиеся в большом количестве конструкций деталей машин крестовины с рёбрами целесообразно выполнять в соотношении размеров, приведенных на рис. 4.20 и в таблице 4.25.

Таблица 4.23 – Примеры L -образного сопряжения элементов

Тип сопряжения	Форма сопряжения	
	Рекомендуемая	Нерекомендуемая
$S = S_1$ $\alpha = 75 \div 105^\circ$		

Продолжение таблицы 4.23

$S = S_1$ $\alpha < 75^\circ$			
$S = S_1$ $\alpha > 105^\circ$			
$S = 1,25S_1$ $\alpha = 75^\div 105^\circ$			
$S > 1,25S_1$ $\alpha = 75^\div 105^\circ$			
$S = 1,25S_1$ $\alpha < 75^\circ$			
Значения h и l			
S / S_1	$> 2,5$	$1,8-2,5$	$1,25-1,8$
h	$0,7(S-S_1)$	$0,8(S-S_1)$	$S-S_1$
l	$\geq 4h$		
r	Определяется по графику на рисунке 4.18		

Таблица 4.24 – Примеры тавровых сопряжений

Тип сопряжения	Форма сопряжения	
	Рекомендуемая	Нерекомендуемая
$S = 1,25S_1$ $\alpha = 75^\div 105^\circ$		

Окончание таблицы 4.24

$S = 1,25S_1$ $\alpha < 75^\circ$			
$S > 1,25S_1$ $\alpha > 75 \div 105^\circ$			
$S > 1,25S_1$ $\alpha < 75^\circ$			
Значения h и l			
S / S_1	$> 2,5$	$1,8 - 2,5$	$1,25 - 1,8$
h	$0,7(S - S_1)/2$	$0,8(S - S_1)/2$	$S - S_1/2$
l	$\geq 8h$		
r	Определяется по графику на рисунке 4.18		

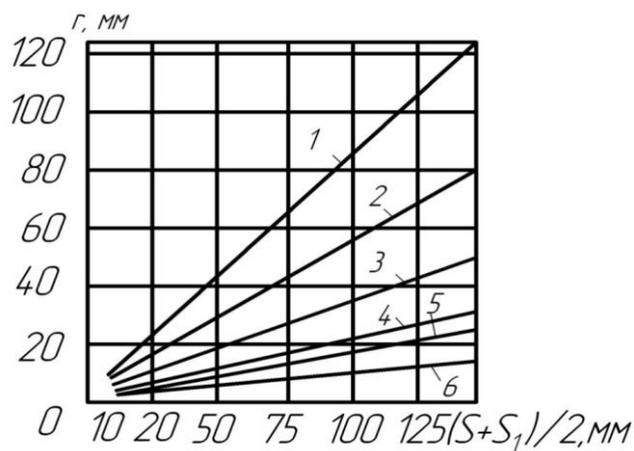


Рисунок 4.18 – График определения радиуса галтели r сопрягаемых элементов чугуновых деталей в зависимости от средней толщины стенки и угла сопряжения:

1 – $\alpha > 165^\circ$; 2 – $\alpha = 135 \div 165^\circ$; 3 – $\alpha = 105 \div 135^\circ$; 4 – $\alpha = 75 \div 105^\circ$;
5 – $\alpha = 50 \div 75^\circ$; 6 – $\alpha < 50^\circ$

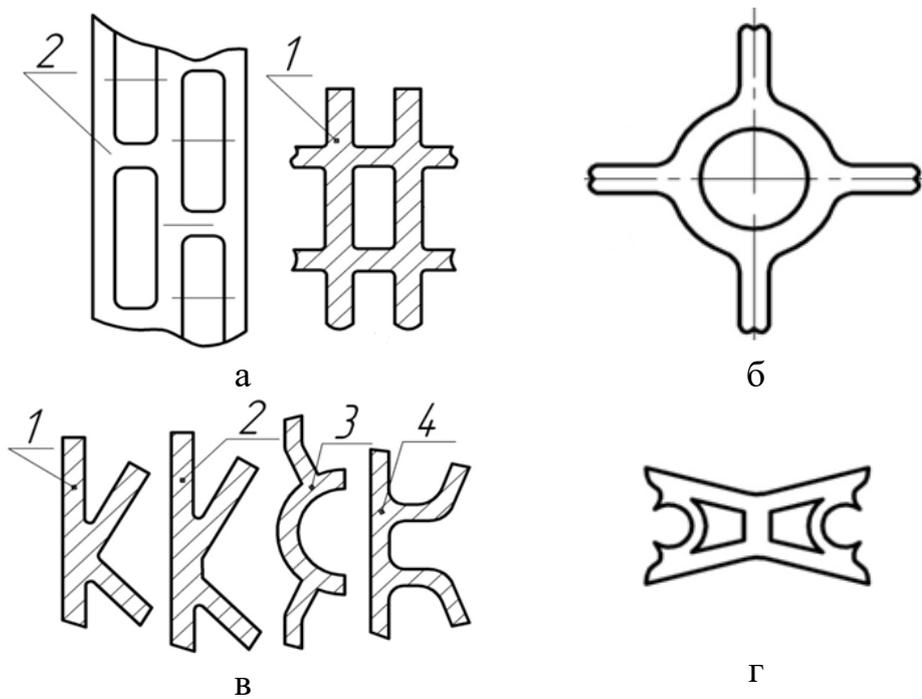


Рисунок 4.19 – Пересечения рёбер и стенок:
 а – шахматные ($N \geq 2\delta$); б – кольцевые ($d \geq 4\delta$);
 в – К-образные ($N \geq 2\delta$); г – Н-образные;
 1 – нетехнологичное пересечение; 2–4 – технологичные пересечения

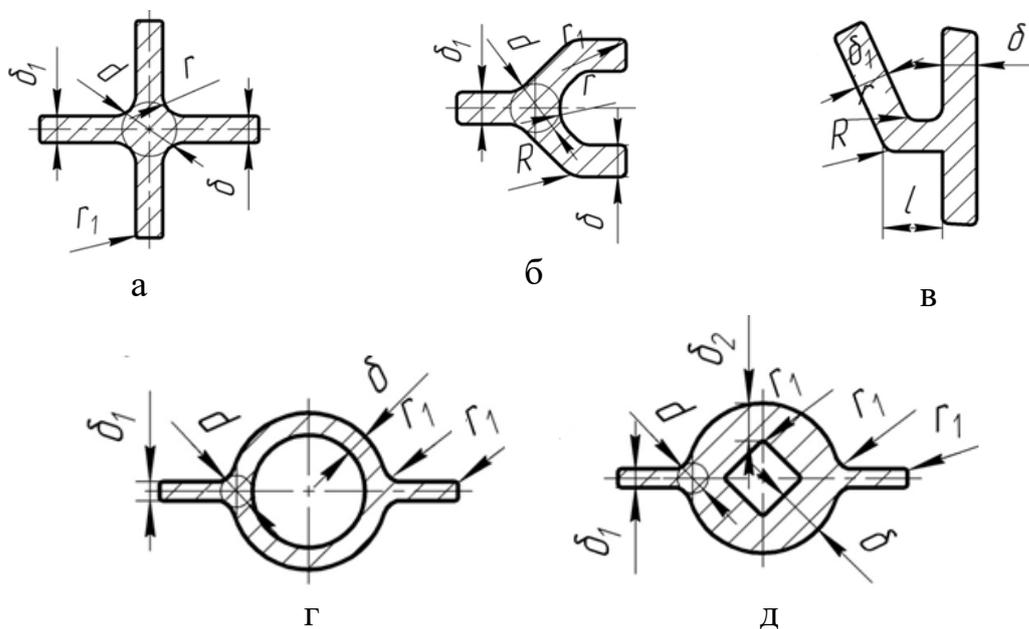


Рисунок 4.20 – Сопряжения стенок отливок:
 а – крестообразные; б – вилкообразные; в – вилкообразные несимметричные; г – кольцевые с ребрами; д – с отверстием квадратного сечения

Таблица 4.25 – Соотношение размеров (в долях размера δ) при различных видах сопряжений стенок отливок

Сопряжение	Эскиз узла отливки на рисунке 4.20	l	δ_1	δ_2	R	r	r_1	d
Крестообразное	а	3	0,6	–	–	0,3	0,25	1,25
Вилкообразное: симметричное	б	–	0,8	–	1,5	0,5	0,25	1,25
несимметричное	в	2 и более	0,8	–	2	0,3	1	1,25
Кольцевое: с ребрами	г	–	0,8	–	–	0,5	0,25	1,25
с квадратным отверстием	д	3 и более	1	0,5	–	0,25	0,25	1,25

4.6 Технологические особенности заготовок, получаемых литьём в оболочковые формы

Согласно ГОСТ 18169–86 литьё в оболочковые формы – это литьё металла, осуществленное путём свободной заливки оболочковой литейной формы.

Основными технологическими операциями при литье в оболочковые формы являются: изготовление оболочек, сборка оболочек формы, установка форм под заливку металла, плавка металла и заливка форм, кристаллизация металла, выбивка и финишная обработка.

При проектировании отливок следует стремиться к тому, чтобы поверхность разъёма оболочковой формы была плоской. Для повышения точности размеров большую часть отливки, а по возможности и всю отливку, следует располагать в одной полуформе. Стенки отливки большой протяженности не должны быть расположены в плоскости разъёма.

Поверхности отливок, перпендикулярные плоскости разъёма, должны иметь уклоны для легкого съёма оболочковой формы с полуформы. Минимальные уклоны на внутренних и наружных поверхностях отливок, не подвергающиеся механической обработке, принимаются равными $0,3^\circ$.

По прочностным характеристикам минимальную толщину стенок следует принимать в соответствии с таблицей 4.26.

Таблица 4.26 – Минимальная толщина стенок отливок при литье в оболочковые формы

Сплавы	Минимальная толщина стенок, мм			
	До 100	Св. 100 до 200	Св. 200 до 350	Св. 350 до 500
Чугун	2–3,5	2,5–4	3–4,5	4–5
Стали	2,5–4	3–3,5	3,5–6	5–7
Оловянные бронзы	1,5–2	2–3	2,5–3,5	3–4
Медные	2,5–4	3–4	3,5–5	4–6
Алюминиевые	2,5–4	3–5	4–6	4–7
Магниевые	2,5–4	3–4	3,5–5	4–6
Цинковые	2–4,5	2,5–3,5	3–4	3,5–5

При конструировании отливок следует избегать внутренних полостей, для получения которых требуются стержни. Размеры полостей отливки, выполняемых в форме, приведены на рисунке 4.21.

При необходимости использования стержней их опорные знаки следует располагать в нижней полуформе или по разъёму формы. Минимальный диаметр отверстия, получаемого в отливке с помощью стержня, находится в пределах 8–10 мм при глубине глухого отверстия до $5d$ и сквозного отверстия до $10d$. В отдельных случаях с помощью стержней из циркониевого песка удается получать отверстия диаметром 4–6 мм.

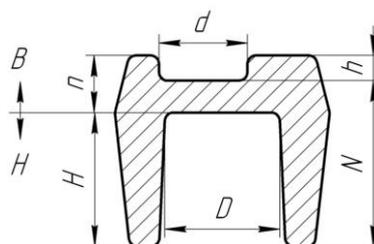


Рисунок 4.21 – Размеры полостей отливки, выполняемых в форме по модели: в верхней части – $h < d/2 \leq n$; в нижней части – $H < D \leq N$

По сравнению с литьём в песчаные формы литьё в оболочковые формы имеет следующие преимущества:

– уменьшение параметров шероховатости и существенное улучшение товарного вида отливок;

- возможность получения отливок с тонкими ребрами и сложным рельефом;
 - сокращение (в 8–10 раз) объёмов по переработке формовочных материалов;
 - снижение (примерно в 2 раза) первоначальных капитальных затрат и потребных производственных площадей;
 - уменьшение металлоёмкости формовочного оборудования;
- Основные недостатки литья в оболочковых формы сводятся к следующему:

- относительно высокая стоимость формовочных материалов;
- повышенная вредность выделяемых веществ при термическом разложении смоляного связующего;
- недостаточная прочность оболочек при получении относительно тяжёлых отливок.

Литьём в оболочковые формы получают сложные фасонные отливки массой до 200 г и максимальными размерами 1500 мм. Наиболее эффективно изготовление этим способом отливок массой 5–15 кг в условиях крупно-серийного и массового производства.

Разнообразны конструктивные особенности отливок, получаемых литьём в оболочковые формы. Это коленчатые и распределительные валы, ребристые цилиндры, станины электродвигателей, корпуса гидрораспределителей, детали вентиляторов, лопасти дробемётных аппаратов и т. д.

4.7 Технологические особенности отливок, получаемых литьём по выплавляемым моделям

Способ литья в формы, изготавливаемые по выплавляемым моделям, позволяет получать как отдельные отливки, в том числе, сложной формы, которые обычно изготавливают сваркой отдельных элементов.

Минимальная толщина стенок отливок не должна быть меньше значений, приведенных в таблице 4.27.

Таблица 4.27 – Минимальная толщина стенок отливок из различных сплавов

Сплавы	Минимальная толщина стенок, мм				
	До 50	Св. 50 до 100	Св. 100 до 200	Св. 200 до 350	Св. 350 до 500
Сталь углеродистая	2,5–4	4–5	5–6	6–7	7–10
Сталь легированная	3–4,8	4,8–6	6–7,2	7–8	8–12

Окончание таблицы 4.27

Алюминиевые	2,5–4	4–5	5–6	6–7	8–9
Магниевые	2,5–4	4–5	4–6	5–7	7–8
Медные	2–3	4–5	4–6	5–7	6–8
Цинковые	1,5–2	3–4	3,5–5	4–6	5–7
Оловянно-свинцовые	1,5–2	2–3	3–4	3,5–5	4–6
Чугун	2–3	3,5–4	4–5	4,5–6	5–8

Наиболее часто изготавливают отливки с толщиной стенок 2–5 мм. Известны случаи, когда толщина стенок составляла 0,5–1,5 мм. Тонкие стенки могут быть выполнены только при площади их поверхности не более 100х100 мм. Если площадь больше, то полости стенок не заполняются или получаются со значительными колебаниями по толщине вследствие деформации оболочки. При изготовлении толстостенных отливок необходимо учитывать, что в таких стенках может образовываться пористость. Поэтому более прочные отливки получают не в результате увеличения толщины, а в результате применения рёбер жёсткости.

Следует избегать глубоких пазов и узких полостей, для оформления которых могут потребоваться стержни. Ширина паза или расстояние между выступами (рис. 4.22) могут быть выполнены при $h < 2b$, если для сплавов цветных металлов $b > 1$ мм, для стали $b \geq 2,5$ мм.

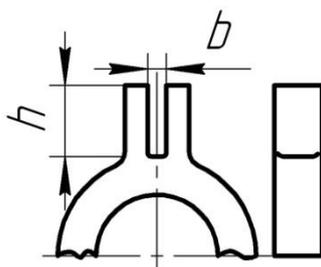


Рисунок 4.22 – Размеры паза отливки

При необходимости выполнить отверстие в стенках отливок делают специальные выступы и бобышки (рис. 4.23). Высоту выступа устанавливают в зависимости от диаметра отверстия или толщины ступени $H = (4 \div 6)D$ или $H \geq 2,5t$ (рис. 4.23 а–б). Толщину стенки выступа назначают в зависимости от толщины стенки отливок $t_1 = (1 \div 1,5)t$. Если отверстия расположены на торцах стенки (рис. 4.23 в–г), то соотношения размеров следующие – $H = 2,25D$, $B \geq 1,5C$, $A = 1,5B$.

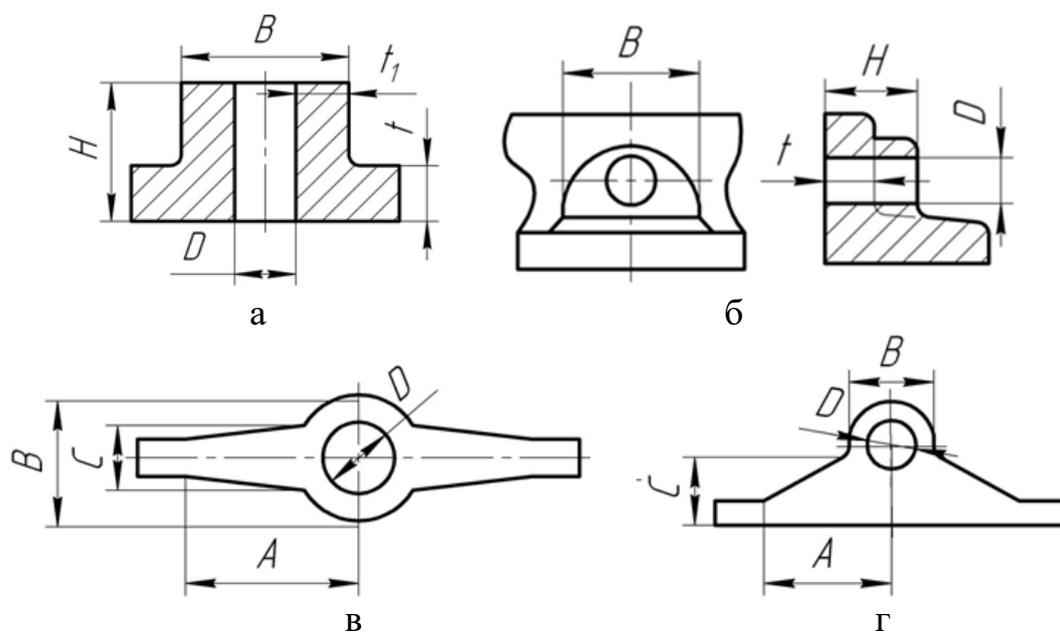


Рисунок 4.23 – Формы выступов в отливках:
а – на плоской стенке; б – в углу стенки; в, г – на торцах стенки

Литьё по выплавляемым моделям используют для изготовления отливок массой от десятка граммов до сотен килограммов с шероховатостью поверхностей от **Ra 4** до **Ra 1,25** мкм и точностью размеров IT9–IT10. Литьём по выплавляемым моделям изготавливают сложные тонкостенные конструкции, объединяют различные детали в компактные цельнолитые узлы со сложными лабиринтными полостями, не выполнимыми другими методами.

Отливки по выплавляемым моделям изготавливают практически из всех цветных литейных сплавов, тугоплавких металлов и сплавов.

Производство отливок по выплавляемым моделям находит широкое применение в различных отраслях машиностроения. Использование литья по выплавляемым моделям взамен кованных заготовок или проката позволяет уменьшить отходы металла в стружку на 34–90 %, снизить трудоёмкость обработки резанием на 25–85 %, себестоимость изготовления деталей – на 20–80 %.

Литьё по выплавляемым моделям обладает следующими недостатками:

- процесс изготовления формы многооперационный, трудоёмкий и длительный;
- большое число технологических факторов, влияющих на качество формы отливки и соответственно сложность управления качеством;
- большая номенклатура технологических материалов;
- повышенный расход металла на литники и поэтому невысокий технологический выход годного.

Следует учитывать, что экономическая эффективность существенно зависит от выбора номенклатуры отливок, изготавливаемых этим способом.

4.8 Технологические особенности заготовок, получаемых литьём в кокиль

Общие требования к кокильным отливкам сводятся к следующему:

а) габаритные размеры отливок должны быть минимальными, а их конфигурации должны обеспечивать использование кокилей с плоским разъемом и металлическим стержнем. Число разъемов и количество стержней должно быть минимальным;

б) необходимо предусматривать плавную конфигурацию отливок, у которых отсутствуют острые углы, резкие переходы, высокие рёбра, глубокие отверстия, выступы и карманы;

в) необходимо правильно выбирать толщину и уклоны стенок, условия заполнения всех элементов отливки;

г) в отливке должно быть предусмотрено такое сочетание конструктивных элементов, при котором уменьшается торможение усадки и обеспечивается лёгкая разборка формы. Примеры нетехнологичного и технологичного выполнения элементов отливок при литье в кокиль приведены на рисунке 4.24.

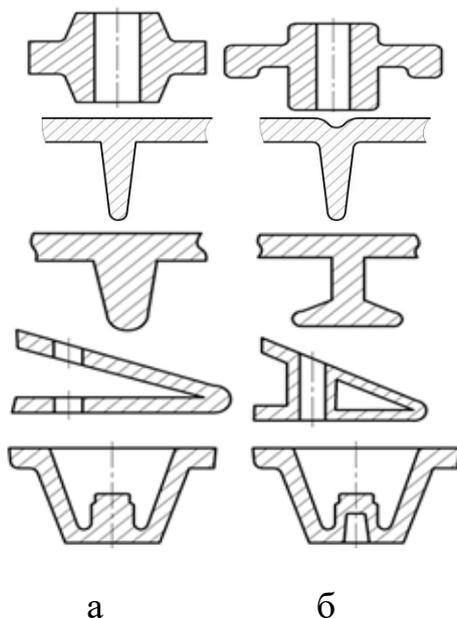


Рисунок 4.24 – Конструктивные элементы кокильных отливок:
а – нетехнологичные; б – технологичные

Минимальную толщину стенки δ получаемых кокильных отливок рекомендуется принимать по таблице 4.28.

Таблица 4.28 – Минимальная толщина отливок

Материал отливки	Параметр стенки отливки	
	Площадь поверхности, см ²	Минимальная толщина, мм
Чугун	До 25	4–6
	25–125	6–7
Сталь	25–125	8–10
Алюминиевые сплавы*	100–250	2,2–4
	250–900	2,5–4,5
	Св. 900	3,5–5,5
Магниевые сплавы	До 30	3
Бронза		4–6

* Меньшие значения толщины рекомендуются для сплава АЛ2; большие – для сплавов АЛ8 и АЛ13.

Из-за малой жидкотекучести стали толщина стенок при литье в кокиль должна быть не меньше 10–12 мм и лишь в исключительных случаях – 8 мм. Толщину внутренних стенок и рёбер жесткости принимают равными $0,7\delta$.

Плавность перехода от одного элемента к другому обеспечивается при условии

$$\delta_1 + \delta_2 \geq 0,8, \quad (4.2)$$

где δ_1 и δ_2 – толщина сопрягаемых стенок, а переход осуществляется на длине $l > (4 \div 5)(\delta_1 + \delta_2)$.

Радиус закруглений стенок принимают равным $R = (\delta_1 + \delta_2)/2$.

Уклоны стенок отливок из различных сплавов приведены в таблице 4.29.

Таблица 4.29 – Уклоны стенок отливок

Материал отливки	Уклон поверхности отливки, мм		
	Наружной	Внутренней (со стороны металлического стержня) при высоте стенки, мм	
		До 50	Св. 50
Чугун	1,0–7,0	–	–
Углеродистая сталь	5,0	–	–

Окончание таблицы 4.29

Сплавы	алюминиевые	1,0–1,5	5,0	2,0–2,5
	магниевые	2,5	3,0	2,0–3,0
	медные	1,5	7,0	3,0–3,5
	цинковые	0,5	2,0	1,0

Примечание. Уклон стенки отливки из чугуна зависит от её высоты:

Высота стенки, мм	До 50	51–100	101–500
Уклон, % высоты стенки	4–7	2–5	1–3

При назначении уклонов внутренних стенок и рёбер жесткости отливок табличные значения рекомендуется увеличивать в 1,5–3 раза.

Предельные размеры отверстий в отливках, получаемых с помощью металлических стержней, приведены в таблице 4.30.

Таблица 4.30 – Предельные размеры отверстий, получаемых в отливках

Материал отливки	Минимальный диаметр d , мм	Максимальная длина отверстий		Уклон стержня, % его длины
		глухих	сквозных	
Чугун и медные сплавы	10	$(1,5 \div 2)d$	$(2 \div 3)d$	1,5
Углеродистая сталь	12			
Сплавы	алюминиевые	8	$2d$	2–3
	цинковые	6	$(2 \div 3)d$	

Использование литья в кокиль по сравнению с литьём в песчаные формы позволяет в 2–3 раза повысить производительность труда. Размеры рабочей полости кокиля могут быть выполнены точнее, чем в песчаной форме. Поэтому кокильные отливки получаются более точными. Точность отливок в кокилях обычно соответствует IT12–IT15. Шероховатость поверхности отливок соответствует Ra 16–2 мкм.

Недостатками литья в кокиль являются высокая стоимость кокиля, сложность получения отливок с поднутрениями, высокие внутренние напряжения в отливках.

4.9 Технологические особенности заготовок, получаемых литьём под давлением

При разработке чертежа отливки определяют оптимальную плоскость разъёма литьевой формы и указывают:

- все внешние и внутренние уклоны;

- поверхности, требующие дальнейшей механической обработки;
- отклонения на размеры;
- участки поверхности, которые не должны иметь следов от выталкивателей, а также следов течения металла;
- требования по герметичности;
- виды защитных или декоративных покрытий;
- участки, на которых не допускается пористость.

При конструировании отливки следует стремиться к одной плоскости разъёма. Для этого отливка не должна иметь внешних и внутренних поднутрений, препятствующих свободному удалению её из литейной формы. Возможность создания одной плоскости разъёма определяют по правилу световых теней, по которому теневые участки при воображаемом освещении отливки параллельными лучами в направлении, перпендикулярном плоскости разъёма, должны отсутствовать.

Необходимо создавать прямые углы и достаточно округлые кромки в тех местах, где это практически осуществимо. Выемки и отверстия следует по возможности располагать перпендикулярно плоскости разъёма. Если отливка располагается в полуформах, для уменьшения усадочных внутренних напряжений внутренние стенки выполняют наклонными (рис. 4.25 а).

Отливка, расположенная в неподвижной *a* и подвижной *b* полуформах, должна иметь наибольшую поверхность стержня в подвижной полуформе (рис. 4.25 б). Боковое поднутрение препятствует свободному удалению отливки из литформы и должно формироваться боковым стержнем или подвижной щечкой (рис. 4.25 в). Устранение этого поднутрения позволяет удалять отливку в направлении, перпендикулярном плоскости разъёма. Внутренние крепежные фланцы (рис. 4.25 г) с поднутрениями можно вынести наружу в плоскость разъёма, обеспечив этим свободный выход центрального стержня из плоскости отливки. Если конфигурация внутренней полости с поднутрениями (рис. 4.25 д) не может быть изменена, то технологичная конструкция отливки предусматривает выемку *e* под фланец, заменяющий дно. Поднутрение *f*, образованное утолщением под крепежное отверстие (рис. 4.25 е), можно заменить равномерным утолщением *g* или утолщением *h* на внешней стороне отливки.

В нетехнологичной конструкции отливки колеса турбины стержень *i* должен удаляться в сторону (рис. 4.25 ж); технологичная конструкция предусматривает формирование выемок выступами *k* подвижной и неподвижной полуформ. Боковые отверстия или окна в стенках отливки (рис. 4.25 з), требующие удаление стержня перед раскрытием литформы, могут быть образованы выступами *m* или *n*.

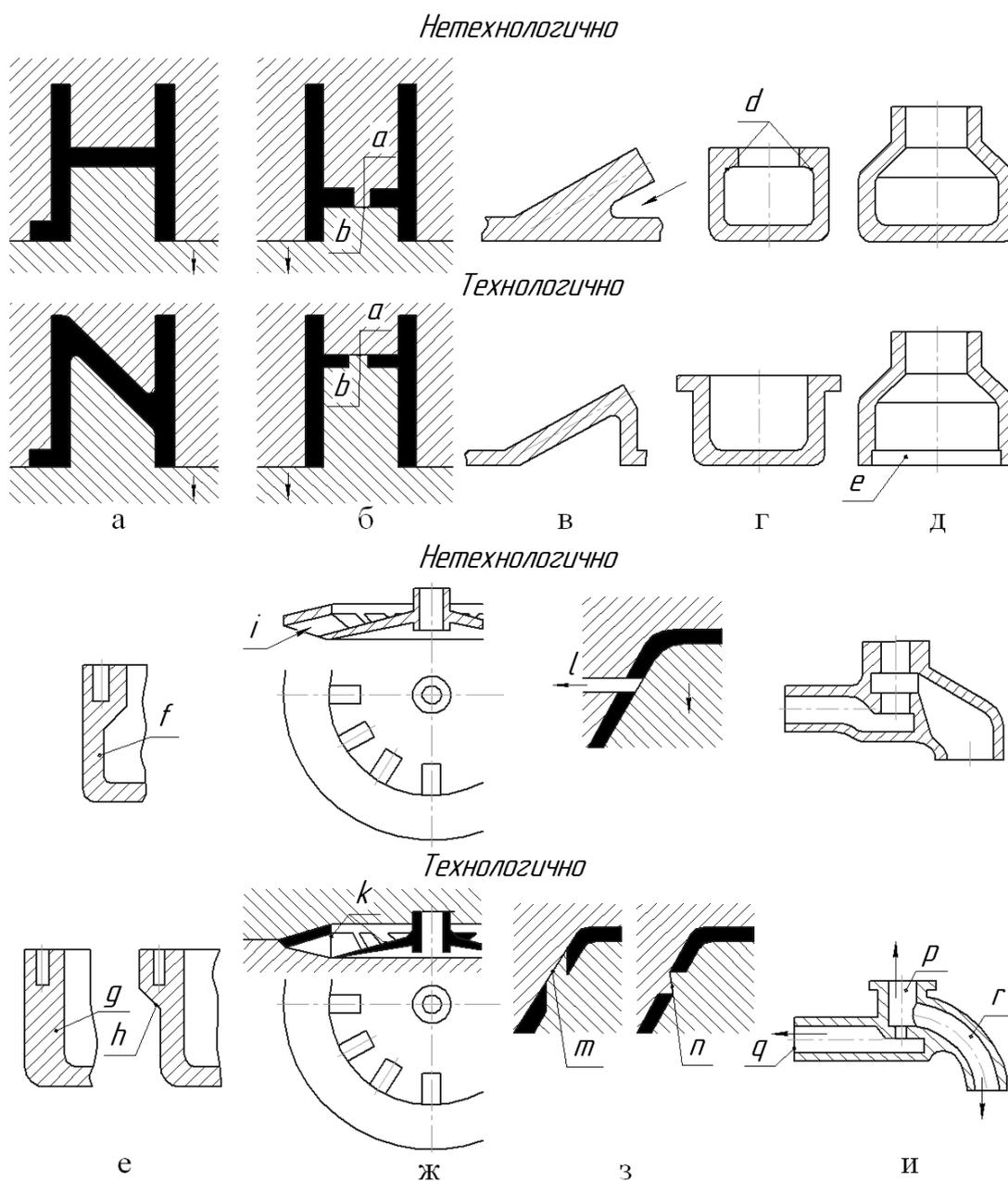


Рисунок 4.25 – Примеры выбора технологичного варианта конструкции отливки

Отливку водопроводного крана (рис. 4.25 и) можно изготавливать литьем под давлением, если предусмотреть удаление стержня p вверх вместе с полуформой, стержня q – в сторону влево и криволинейного стержня r – по дуге вниз.

Толщина стенки определяется совокупностью конструктивных и технологических факторов, главными из которых являются: масса отливки; жесткость конструкции; требование по прочности и герметичности; возможность заполнения, подпрессовки и выталкивания отливки.

В процессах литья под давлением направленность затвердевания отливки затрудняется высокими скоростями кристаллизации. Поэтому необходимо разрабатывать такие конструкции отливок, в которых металл затвердевал бы во всех сечениях одновременно. Этим условиям удовлетворяют только равностенные конструкции отливок.

В конструкции должны отсутствовать массивные скопления металла, отделенные друг от друга тонкими перегородками. На рисунке 4.26 приведены примеры ликвидации утолщённых мест, образующихся при сочленении или пересечении стенок литых конструкций.

Конструкция отливки зависит от соотношения пределов прочности при сжатии и растяжении. Например, предел прочности при сжатии для магниевых сплавов в 1,5–2 раза превышает предел прочности при растяжении. Это обстоятельство необходимо учитывать при выборе конструкции отливки.

На рис. 4.27 показаны примеры изменения конструкции отливки, обеспечивающие замену растягивающих напряжений на сжимающие.

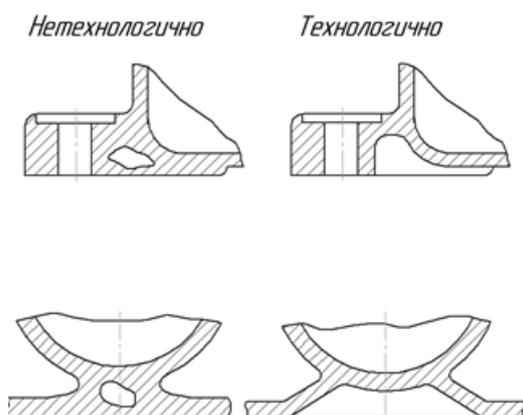


Рисунок 4.26 – Примеры устранения усадочных раковин

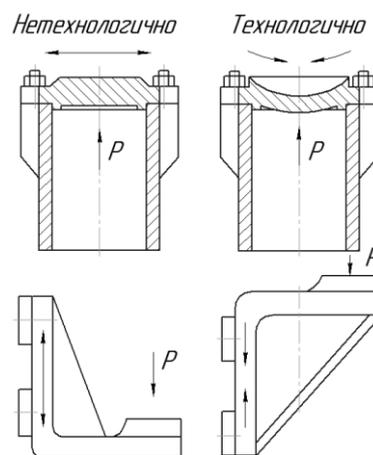


Рисунок 4.27 – Изменение конструкции отливки

Толщина сечения отливок зависит от прочности и технологических свойств сплавов. Значения минимально допустимой толщины стенки для различных сплавов в зависимости от площади внешней поверхности отливки приведены в таблице 4.31.

Таблица 4.31 – Минимально допустимая толщина стенки отливок, мм

Площадь сплошной поверхности в см ²	Основа сплава					
	Олово, свинец	Цинк	Алюминий	Магний	Медь	Железо
До 25	0,6	0,8	1,0	1,3	1,5	1,7

Окончание таблицы 4.31

25 – 100	0,7	1,0	1,5	1,8	2,0	2,2
100 – 125	1,1	1,5	2,0	2,5	3,0	3,2
250 – 400	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	–
400 – 1000	2,0	2,5	4,0	4,0	–	–

Переходы и радиусы закруглений существенно влияют на величину внутренних напряжений, которые в местах сочленения разностенных отливок могут привести к появлению трещин. Поэтому необходимо предусматривать плавные переходы и радиусы закруглений.

Конфигурация перехода зависит от соотношения толщины сопрягаемых элементов. При незначительной разнице в толщине ($\delta_1/\delta_2 \leq 2$) переходы рекомендуется осуществлять по радиусу R (рис. 4.28 а), величина которого составляет

$$R = (0,2 \div 0,25)(\delta_1 + \delta_2) > (0,8 \div 1) \text{ мм.} \quad (4.3)$$

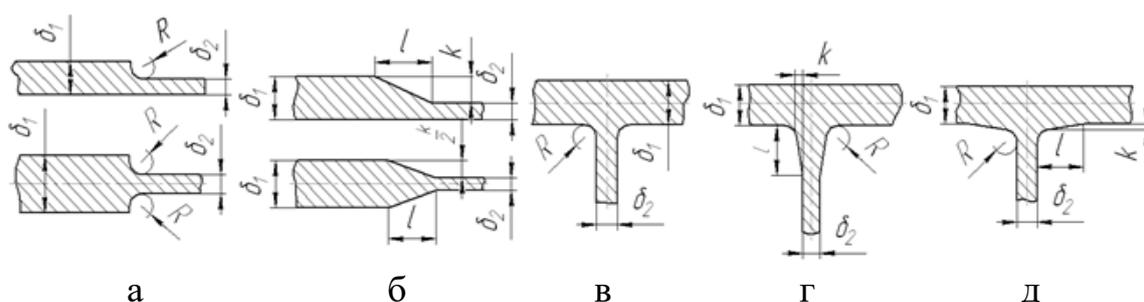


Рисунок 4.28 – Переходы от толстых стенок к тонким

Если $\delta_1/\delta_2 \geq 2$, то следует применять клиновые сопряжения (рис. 4.28 б), в котором $l \geq 4k$. Так как $k = \delta_1 - \delta_2$, то

$$l \geq 4(\delta_1 + \delta_2). \quad (4.4)$$

При перпендикулярном соединении стенок и отношении $\delta_1/\delta_2 \leq 1,75$ (рис. 4.28 в) возможно сопряжение по радиусу

$$R \geq (\delta_1 + \delta_2)/4. \quad (4.5)$$

При соотношении $\delta_1/\delta_2 > 1,75$ рекомендуется клиновое сопряжение, которое в зависимости от конструктивных требований выполняется с утолщением на тонкой (рис. 4.28 г) или на толстой стенке (рис. 4.28 д). При клиновом сопряжении перпендикулярных стенок

$$k \approx (\delta_1 + \delta_2)/2. \quad (4.6)$$

Рёбра жесткости применяют для усиления тонких стенок отливок. Рёбра должны иметь уклоны, по возможности равномерную толщину, закруглённые внешние и внутренние края. В целях обеспечения равномерного уплотнения и охлаждения металла толщину рёбер принимают близкой к толщине стенок. Рекомендуется следующее соотношение, поясняемое рисунком 4.29,

$$\delta_p = (0,8 \dots 0,9)\delta_{отл.}, \quad (4.7)$$

где δ_p – средняя толщина ребра, равная $0,5(\delta_1 + \delta_2)$.

Высота ребра S зависит от конфигурации отливки. Однако не рекомендуется

$$S \geq 10\delta_{отл.}. \quad (4.8)$$

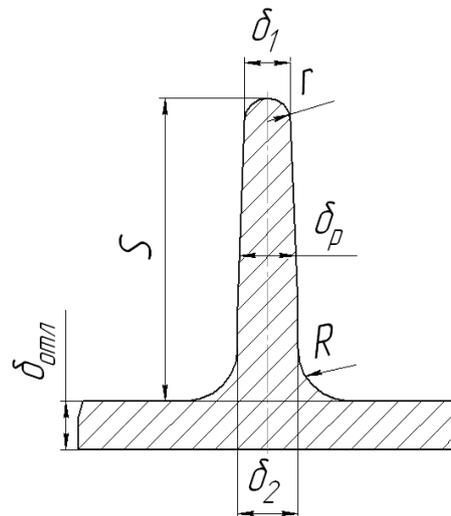


Рисунок 4.29 – Размеры ребра жёсткости

Литейные уклоны и конусность на поверхностях, перпендикулярных плоскости разъёма, предназначены для облегчения удаления отливки. Особенно важны литейные уклоны на внутренних поверхностях, оформляемых стержнями. Для внутренних поверхностей отливок, образуемых неподвижными стержнями, которые извлекают при помощи выталкивателей, необходим уклон бóльший (рис. 4.30 а), чем при использовании подвижных стержней (рис. 4.30 б).

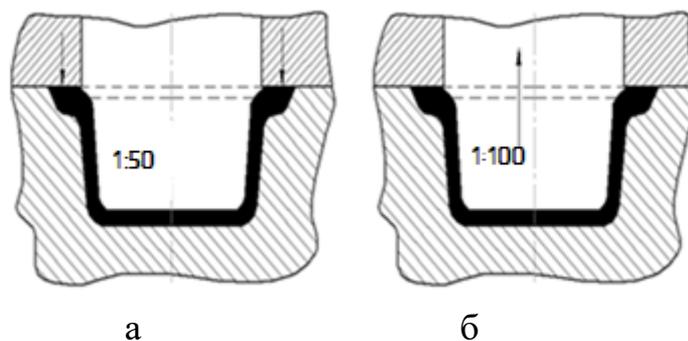


Рисунок 4.30 – Внутренние литейные уклоны отливок, формируемых неподвижным (а) и подвижным (б) стержнями

Величина литейных уклонов или конусности зависит от вида сплава, стенок отливки. Уклоны внешних и внутренних поверхностей отливки определяют по таблице 4.32, но они не должны быть меньше минимально допускаемых (табл. 4.33).

Таблица 4.32 – Уклоны внешних и внутренних поверхностей

Основа сплава	Уклоны стенок			
	внешних	внутренних	внешних	внутренних
	в %			
Олово, свинец	0,1–0,2	0,2–0,5	До 0°20′	0°10′–0°30′
Цинк	0,1–0,2	0,2–0,5	0°30′–0°45′	0°30′–1°00′
Алюминий	0,2–0,3	0,5–1,0	0°30′–1°00′	0°30′–1°00′
Магний	0,2–0,3	0,3–0,5	0°30′–0°45′	0°30′–1°00′
Медь	0,3–0,5	0,5–1,0	0°30′–1°00′	1°00′–1°30′
Железо	0,5–0,7	0,7–1,2	0°45′–1°00′	1°00′–1°45′

Таблица 4.33 – Минимальные уклоны поверхностей отливок при литье под давлением

Сплавы	Поверхности			
	посадочные		прочие	
	наружные	внутренние	наружные	внутренние
Алюминиевые	15′	25′	30′	1°
Магниевые	15′	35′	30′	1°
Цинковые	15′	35′	15′	30′
Медные	30′	1°	45′	1°30′

Отверстия в отливках, получаемых литьём под давлением, выполняют двумя способами: полностью литьём или частично литьём с последующей механической обработкой. В крупносерийном и массовом производстве выгодно получать литые отверстия. В толстостенных отливках из цинковых сплавов отверстия диаметром до 1 мм из алюминиевых и магниевых сплавов, отверстия диаметром до 1,5 мм из медных сплавов до 3 мм следует выполнять сверлением, так как тонкие

стержни быстро выходят из строя. Допустимые параметры литья цилиндрических и резьбовых отверстий приведены в таблицах 4.34 и 4.35.

Таблица 4.34 – Допустимые параметры цилиндрических отверстий в отливке

Сплавы	Минимальный диаметр, мм		Максимальная глубина, выраженная в диаметрах для отверстий		Конусность отверстий, % от длины
	практически рекомендуемый	технологически возможный	глухих	сквозных	
Цинковые	1,5	1,0	6	12	0,2 – 0,5
Алюминиевые	2,5	1,5	3	6	0,5 – 1,0
Магниевые	2,0	1,5	5	10	0,3 – 0,5
Медные	3,0	2,5	3	4	0,8 – 1,5

Таблица 4.35 – Минимальные размеры резьбовых отверстий в отливке

Сплавы	Шаг, мм	Диаметр, мм	
		наружный	внутренний
Цинковые	0,75	6	10
Магниевые	1,00	6	15
Алюминиевые	1,00	10	20
Медные	1,50	12	–

При конструировании отливок с отверстиями следует учитывать целесообразность применения длинных тонких стержней для оформления отверстий в форме (рис. 4.31 а). Отверстия в боковой стенке (рис. 4.31 б), для оформления которых необходимы подвижные стержни, часто могут быть оформлены неподвижными выступами в полуформе. Отверстия в боковых стенках лучше располагать параллельно друг другу (рис. 4.31 в), чтобы использовать для движения стержней один механизм. Боковая стенка с отверстием должна отстоять от другой стенки минимум на 3–4 мм. Следует избегать расположения отверстий на боковых поверхностях отливки, которые оформляются знаками в подвижной и неподвижной полуформах (рис. 4.31 д). Такие отверстия в отливках целесообразно выполнять с помощью последующей механической обработки. Если литое отверстие трудновыполнимо, оно может быть обозначено центром под сверление (рис. 4.31 е). Нельзя допускать пересечения отверстий, требующих пересечения отверстий для знаков в литевой форме (рис. 4.31 ж). Целесообразно отверстия оформлять знаками, извлечение которых из отливки совпадает с направлением раскрытия формы (рис. 4.31 з).

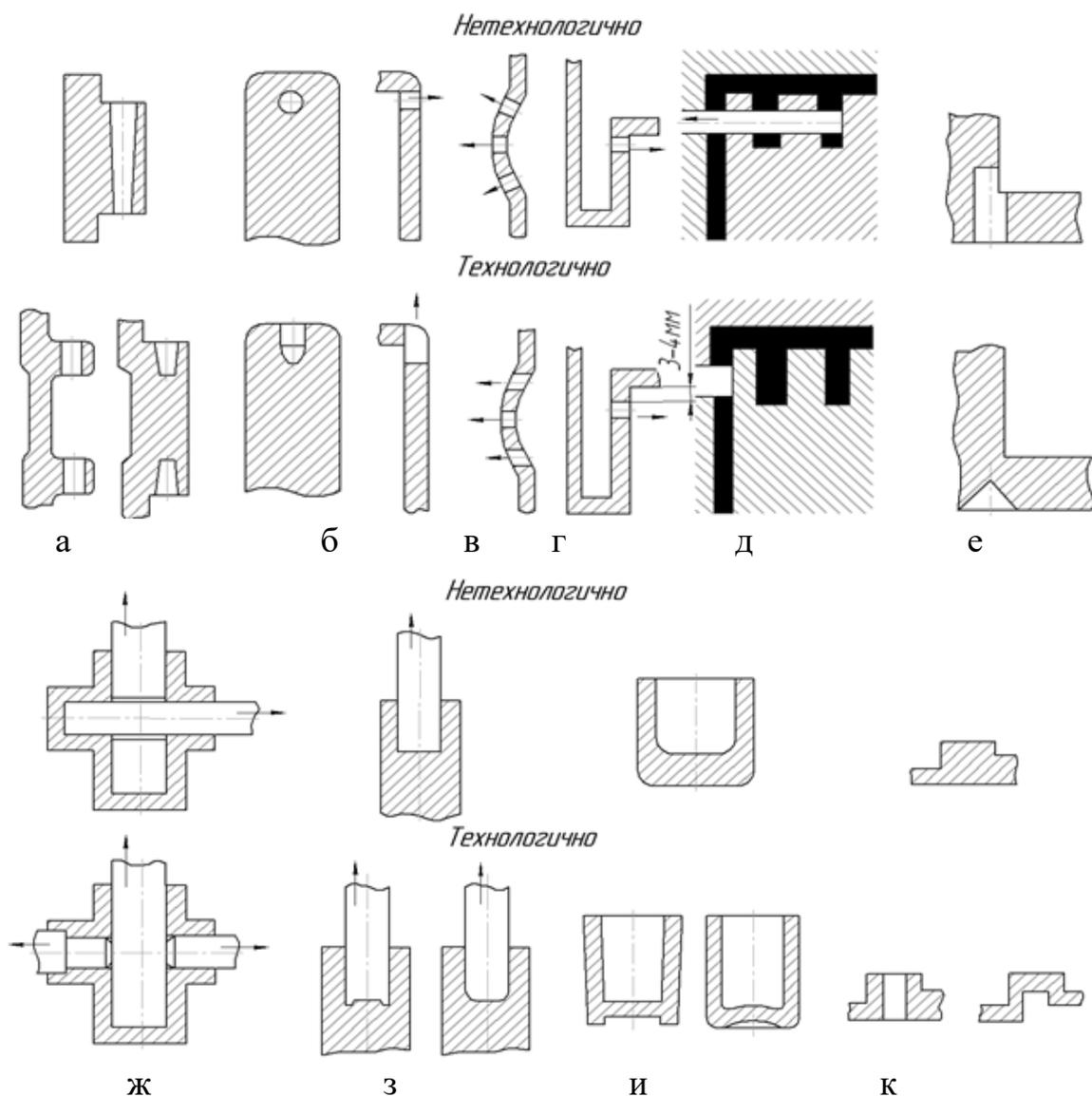


Рисунок 4.31 – Конструкционные варианты оформления отверстий в отливках

Толщина дна глухих отверстий должна быть минимальной, чтобы исключить действие чрезмерной усадки металла на стержень (рис. 4.31 и). Иногда с целью устранения локальных утолщений рекомендуется выполнять отверстия или окна (рис. 4.31 к).

Надписи на отливках получают по трём вариантам (рис. 4.32). Вариант на рисунке 4.32 а наиболее экономичный, сами надписи долговечны. Однако при выполнении таких надписей недопустимы поднутрения. Если выпуклые надписи не допускаются, их располагают в поднутрениях (рис. 4.32 б). Вариант (рис. 4.32 в) является самым трудоёмким в исполнении.

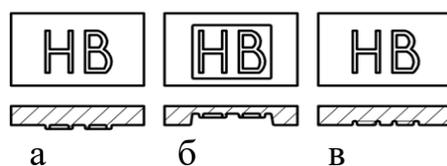


Рисунок 4.32 – Схемы расположение надписей

Номенклатура отливок, получаемых литьём под давлением, разнообразна. Наиболее широко этот способ литья применяют при изготовлении отливок из цинковых, магниевых, алюминиевых и медных сплавов. Этим способом изготавливают изделия, почти не требующие дальнейшей обработки резанием, так как качество отливок по точности и шероховатости поверхности значительно превышает эти же качества отливок, полученных другими способами. Отливки могут иметь простую и очень сложную конфигурацию, толщину стенок 0,5–5 мм, массу от нескольких грамм до 30–45 кг, размеры от нескольких миллиметров до 1,5 м. Литьём под давлением можно получать детали с готовой внутренней и наружной резьбой, разнообразной арматурой, с полостями и каналами сложной конфигурации, образуемыми армирующими элементами.

4.10 Применение программных продуктов САЕ в расчётах процессов литья заготовок

Ниже приведен перечень программных продуктов, часто используемых при моделировании литейных процессов, и их производители, в скобках указаны способы решения исследуемых процессов (методом конечных элементов – МКЭ, конечных объёмов – МКО, конечных разностей – МКР):

- ProCAST Франция (МКЭ);
- «ПолигонСофт» Россия (МКЭ);
- LVMFlowCV Россия (МКО);
- WinCast® expert Чехия (МКЭ);
- Magmasoft 5.5 Германия (МКР);
- Solid Cast США (МКР);
- Flow3D Германия (МКО);
- QuikCast Австралия (МКР);
- RAM-CAST Франция (МКР);
- FlowVision Россия (МКО).

Одним из наиболее известных программных продуктов для компьютерного моделирования литейных процессов является пакет прикладных программ ProCAST фирмы ESI Group. Разработчики

избрали такой путь построения CAE системы, когда составляющие её модули (так называемые, решатели) соответствуют не конкретным литейным технологиям, а физическим процессам, реализуемым в этих технологиях.

Используя интерфейс CAE системы, пользователь формирует расчётную модель, а необходимые модули подключаются в процессе решения задачи в зависимости от набора параметров. Доступ к модулям, с которыми непосредственно работает пользователь, осуществляется из вкладки «File Manager». Для подготовки сеточной модели детали или заготовки в ProCAST используется автоматизированный генератор конечно-элементной сетки Visual-Mesh, PreCAST – препроцессор для считывания конечно-элементной созданной ранее модели, задания свойств материалов, контактных, граничных и начальных условий, DataCAST определяет настройки и создает файлы, необходимые для выполнения расчётов, ViewCAST представляет собой постпроцессор, позволяющий визуализировать результаты расчёта в виде отчёта ProCAST, Status помогает отслеживать этапы выполнения расчёта.

Вычислительные ресурсы ProCAST определяются решателями, которые формируют расчётные модули, используемые для моделирования теплового процесса с учётом процесса затвердевания и формирования усадочных дефектов; расчёта теплоизлучения в процессе кристаллизации отливки; оценки течения потока расплава и анализа заполнения формы для различных способов литья. Кроме перечисленных, в состав входят модули расчёта песчаных стержней, расчёта напряжённо-деформированного состояния, прогнозирования качества кристаллизации отливки, модуль обратного моделирования для корректировки граничных условий, выполняется расчёт макро- и микропористости в получаемой отливке, моделируется процесс изменения зёрен и их рост в структуре расплава при затвердевании.

Все модули формируют реальную физическую сущность соответствующих процессов с учётом теплопроводности, напряжений, потоков расплава и т. д., поэтому применимы к любому типу технологических процессов литья, где должны учитываться различные физические явления. Модульного деления по виду применяемых материалов нет. Благодаря этому, например, один и тот же модуль течения – Fluids Module, может успешно применяться для оценки процесса литья чугуна, стали, алюминия и т. д., причём система по умолчанию учитывает специфику расчёта выбранного материала.

ProCAST представляет законченное решение, охватывающее широкий спектр литья металлов и сплавов. Большая часть сталей, чугунов, сплавов Al, Co, Cu, Mg, Ni, Ti и Zn представлена в соответствующих базах данных системы, открытых для пополнения и

обновления. Интерфейс САЕ системы позволяет автоматически рассчитать свойства сплава, задавая его состав.

Общий порядок работы в программном обеспечении включает следующие этапы:

- подготовка геометрической модели отливки с элементами литниковой системы;
- проверка геометрии и построение поверхностной сетки;
- корректировка поверхностной сетки и построение объёмной сетки для модели отливки;
- моделирование течения потока расплава для отливки со свободными поверхностями;
- создание модели формы по модели отливки, создание сетки формы и проверка её качества;
- сборка сеточных моделей отливки и формы;
- задание материалов;
- выбор коэффициентов теплопередачи на границах раздела между материалами отливки и формы, начальных температур материалов;
- задание граничных условий на поверхностях модели отливки;
- настройка решателей ProCAST и запуск расчёта процесса;
- получение результатов моделирования и их оценка;
- постобработка результатов моделирования с помощью инструментов модуля VisualCAST.

Для выполнения расчётов создаётся новый проект. На компьютере формируют папку для хранения рабочих файлов проекта в выделенной директории и копируют в неё файл с геометрией детали, отливку которой необходимо рассчитать с помощью системы анализа процесса литья. Запуск нового проекта выполняют через ярлык «ESI Group» на рабочем столе компьютера. При этом запустится окно файлового менеджера ProCAST (для версии 2010 он примет вид (рис. 4.33).

В ProCAST можно открыть следующие форматы сохранённых данных:

- файлы IGES с расширением *.igs;
- файлы STEP с расширением *.step;
- файлы Parasolid с расширением *.x_t или *.xmt_txt;
- файлы STL с расширением *.stl(ascii) или *.bstl(binary).

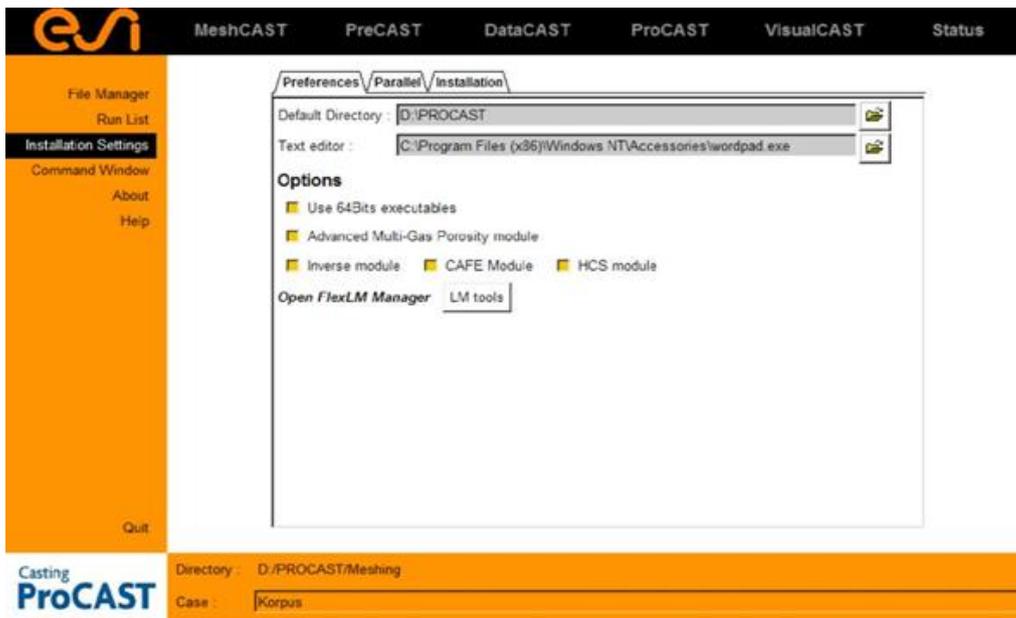


Рисунок 4.33 – Запуск нового проекта через ярлык рабочего стола компьютера

Далее следует запустить генератор сеток MeshCAST. В меню File/Open выбирают формат загружаемого файла (Parasolid или другой, доступный для чтения) и кликают мышкой на файле отливки. Для выполнения корректных расчётов используют трёхмерную модель отливки с элементами литниковой системы, которую создают в любой CAD системе (Autodesk, SolidWorks, PowerShape и др.). В результате будет открыта геометрия отливки в каркасном виде (рис. 4.34).

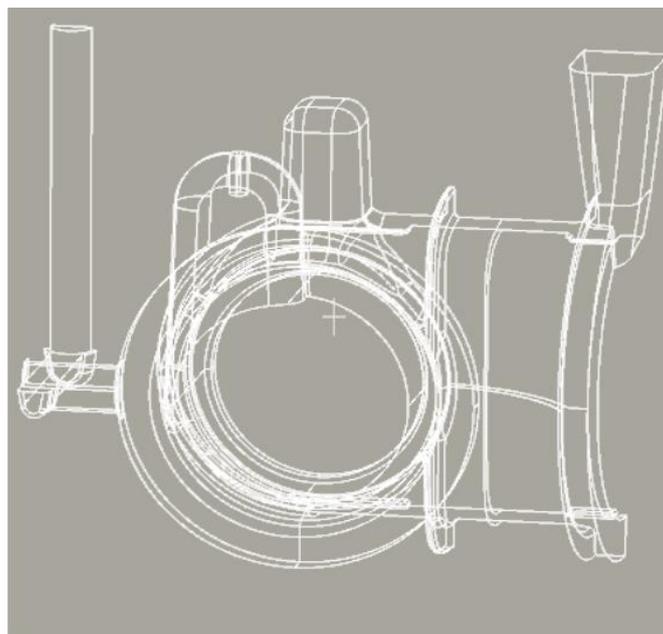
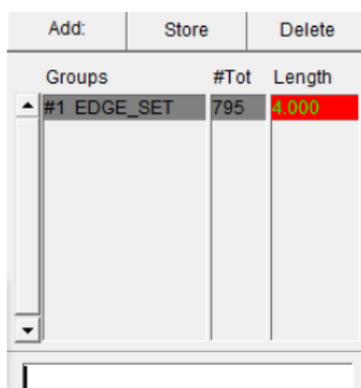


Рисунок 4.34 – Геометрия отливки в каркасном отображении

Для корректной работы программного обеспечения следует проверить качество загруженной геометрии отливки, чтобы каждый элемент поверхности корректно отображался в графической части САЕ системы. Наличие разрывов в геометрии недопустимо и требует исправления с помощью инструментов интерфейса программного обеспечения. Инструменты позволяют исправить ошибки и устранить зазоры или разрывы между поверхностями, незамкнутые контуры, отредактировать форму простых и сложных отверстий, выполнить проверку привязки линий, которые должны принадлежать более чем двум поверхностям и т. д. Для этого используют вкладку Check Geometry. Появление сообщения вида Surface edges seem OK подтверждает, что передача геометрии модели произошла без существенных ошибок. В противном случае появилось бы сообщение о количестве линий с неправильной привязкой к геометрии элементов заготовки.

Далее следует перейти к этапу построения поверхностной сетки, состоящей из треугольных элементов. В таблице параметров сетки выделяют строку, соответствующую размеру ячейки и в нижней строке вводят 4 (рис. 4.35). В общем случае необходимо выбирать размер ячейки вдвое меньше размера минимальной толщины стенки отливки. Однако при расчёте крупногабаритных тонкостенных отливок допускается выбирать отношение стенки отливки – размер ячейки сетки равным 1:1,5. Далее нажимают клавишу Enter.



Add:	Store	Delete
Groups	#Tot	Length
#1 EDGE_SET	795	4.000

Рисунок 4.35 – Задание размера ячейки конечно-элементной сетки

Используют вкладку Generate Surface Mesh – графическая вкладка интерфейса имеет вид , что обеспечит построение поверхностной сетки. Для отображения сетки в графическом окне нажимают вкладку Show Mesh (рис. 4.36).

Для оптимизации созданной сетки можно применить переменный размер ячейки для разных частей отливки, например, выполнить сетку

более грубой в местах установки прибылей или выпоров, т. е. элементов, которые не оказывают существенного влияния на характер течения материала и взаимодействия его с формой. Для этого в таблице параметров сетки используют вкладку Add (рис. 4.36) и выбирают Edge Set, что обеспечит создание нового набора линий для перечисленных выше элементов отливки. Сохраняют изменения (Store) и перестраивают поверхностную сетку.

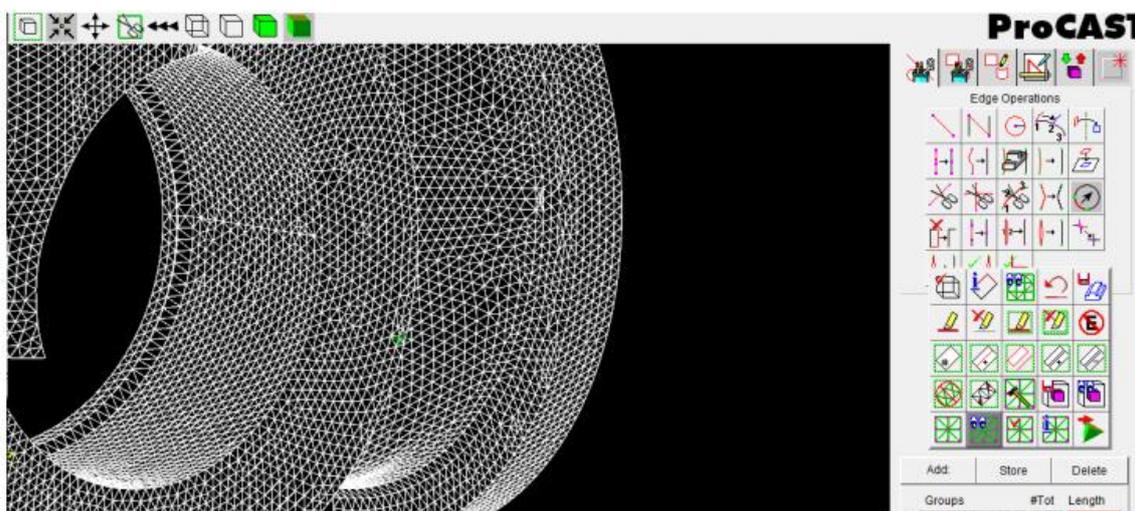


Рисунок 4.36 – Вкладка отображения поверхностной сетки и её вид в графическом окне САЕ системы

На этом этапе целесообразно выполнить проверку построения поверхностной сетки для исключения возможных ошибок (например, устранения разрыва линий и др.), которые могли возникнуть при построении.

Корректировку поверхностной сетки выполняют, используя вкладку Go: Volume Meshing. Появится сообщение, информирующее о наличии ошибочных элементов, если такие имеются, и их количестве и предлагается продолжение действия (Continue?) либо его отмена. Нажимают «Да».

Для редактирования сетки заходят во вкладку Tets. Качество сетки оценивают с помощью вкладки Check Mesh, которая обеспечивает отображение проблемных областей. Алгоритм САЕ системы представляет возможность автоматического исправления этих областей с помощью вкладки Auto Fix Fillets/Bad Triangles. В результате применения этой операции будут удалены проблемные элементы для предотвращения разрывов в сетке. Снова нажимают вкладку Check Mesh. Теперь в окне ввода (нижняя правая часть интерфейса САЕ системы) появится сообщение The surface seems OK, подтверждающее исправление ошибок. Проверяют сетку на возможные локальные

пересечения элементов. Для выполнения операции используют вкладку Check Intersections. В результате операции после полной проверки сетки в окне вывода появится сообщение: Total # of possible intersections are: n, где n – количество пересечений в сетке. В случае, если количество пересечений равно 0, никаких исправлений в созданную поверхностную сетку вводить не требуется. При наличии пересечений необходимо воспользоваться вкладкой Fix Intersections для их автоматической корректировки.

При сохранении файла нажимают вкладку File/Save, что обеспечит сохранение поверхностной сетки в формате *.sm.

После этого выполняют построение объёмной сетки. Раскрывают вкладку Generate Tet Mesh. Значения параметров во вкладках Layers и Aspect Ratio оставляют установленными по умолчанию, поскольку приведенные значения являются, по мнению разработчиков программного обеспечения, наиболее оптимальными (рис. 4.37). Параметр во вкладке Aspect Ratio отвечает за соотношение сторон поверхностных треугольников к внутренним. Параметр во вкладке Layers определяет, каким образом будет проводиться построение внутренних узлов конечно-элементной сетки для тонких стенок (по умолчанию – «полноценных слоёв»).

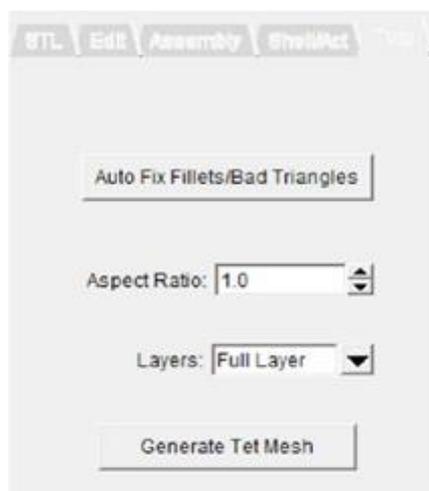


Рисунок 4.37 – Задание параметров для построения объёмной сетки

После выполнения описанных выше операций объёмная сетка может быть сохранена в файл. В строке Files of type последовательно выбирают ProCAST – Volume Mesh files – *.mesh и нажимают Save.

Система ProCAST обеспечивает моделирование течения потока расплава в отливке со свободными поверхностями на основе уравнения течения Навье – Стокса. Пример этого варианта расчёта течения расплава взят из интернет-ресурсов и приведен на рисунке 4.38.

Более информативным для подготовки производства следует считать возможность выполнения расчёта процесса заполнения отливки с учётом контакта металла с поверхностью формы любого вида, поскольку в этом случае могут быть учтены процессы теплообмена между заливаемым металлом и материалом формы.

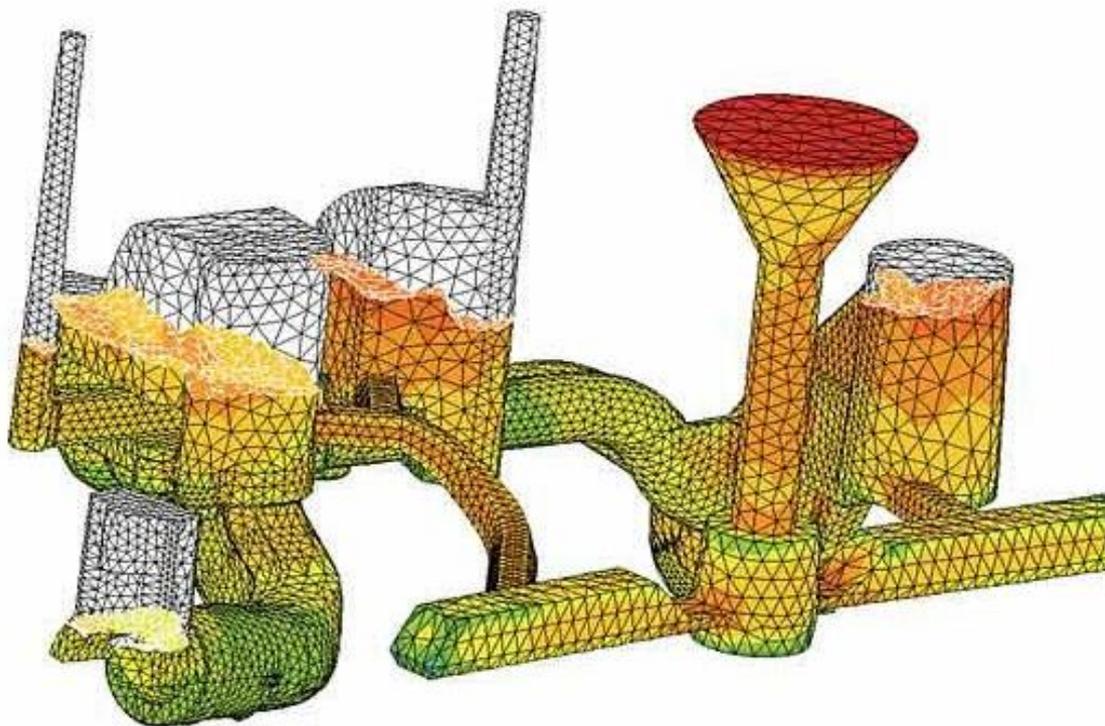


Рисунок 4.38 – Пример расчёта течения расплава в ProCast

Пусть необходимо произвести расчёт литья со свободной заливкой металла в реальную форму, выполненную из песчаных смесей.

Для решения задачи в качестве исходных данных должны быть заданы следующие характеристики процесса: время заполнения в секундах (например, 8 с.), процент заполнения формы (например, 95 %), температура заливаемого металла (для примера 1580 °С).

Для расчёта следует использовать созданные либо разработать новые файлы с 3D объёмной конечно-элементной сеткой модели отливки (например, GS_Gravity_.mesh:), файл с готовыми данными (GS_Gravity_.p.dat:), файл с готовыми расчётными параметрами (GS_Gravity_.d.dat:).

Для работы алгоритма САЕ системы необходимо создать сборку, элементами которой станут 3D-модель отливки с элементами литниковой системы и собственно литейная форма. Вначале, в виде элементов эскиза, оформляют примерные размеры формы, используя вкладки интерфейса графического моделирования, и, задавая расстояния от нижних и боковых границ модели до соответствующих

границ формы. Затем последовательно нажимают вкладки Apply и Close. Для определения контактной поверхности между моделью отливки и формы выбирают вкладку меню Prepare/Assembly и нажимают Check. Программа автоматически создаст элементы формы и определит границы контакта между поверхностями отливки и формы. Синий цвет линий в графической части САЕ системы будет означать, что контур элементов отливки и формы, ограниченный этими линиями, замкнут. При необходимости корректировки всех границ используют вкладку Auto Correct All. Для исправления отдельных границ используют вкладки Next и Auto Correct. При наличии некорректной геометрии отливки исправляют ошибки так, как это описано выше. Исправление ошибок может быть выполнено в созданном на данном этапе файле сборки отливки и формы. Для этого в «Дереве объектов» САЕ системы необходимо оставить только отображение отливки с элементами литниковой системы и внести исправления, элементы формы при этом следует погасить. Затем выполняют создание поверхностной сетки. Для этого включают ранее погашенное отображение формы с помощью вкладки  интерфейса «Дерево объектов». Выбирают вкладку меню 2D Mesh/Surface Mesh. В раскрывшейся вкладке Surface Mesh в поле Element Size вводят значение размера ячейки сетки для всей модели (в виде числа 10, 15 или др.). При необходимости изменения размера ячейки нужно создать новый набор линий на поверхности отливки или элемента литниковой системы и установить для него определенное значение элемента ячейки.

Для этого используют вкладку . В ранее раскрытой вкладке появится новая строка, выделенная синим цветом, в которую вводят значение элемента ячейки формы и подтверждают выбор нажатием вкладки Enter. Эти действия повторяют, пока все изменяемые элементы не будут отредактированы. Затем используют вкладку Mesh All Surface для создания поверхностной сетки (рис. 4.39). Во вкладке сообщений (под графическим окном САЕ системы) появится сообщение All the 106 surfaces are successfully meshed, которое означает, что сетка была построена на всех поверхностях модели. При необходимости проверки качества сетки используют вкладку Check Surface Mesh, в которой нажимают Check. Затем проводят операцию создание объёмной сетки с помощью вкладки 3D Mesh/Volume Mesh, выделив всю созданную модель сочетанием клавиш Ctrl+A и подтверждая выбор, в конце операции нажимают вкладку Mesh. После завершения построения сетки следует подтвердить выполнение операции, закрыть вкладку Tetra Mesh и сохранить проект.

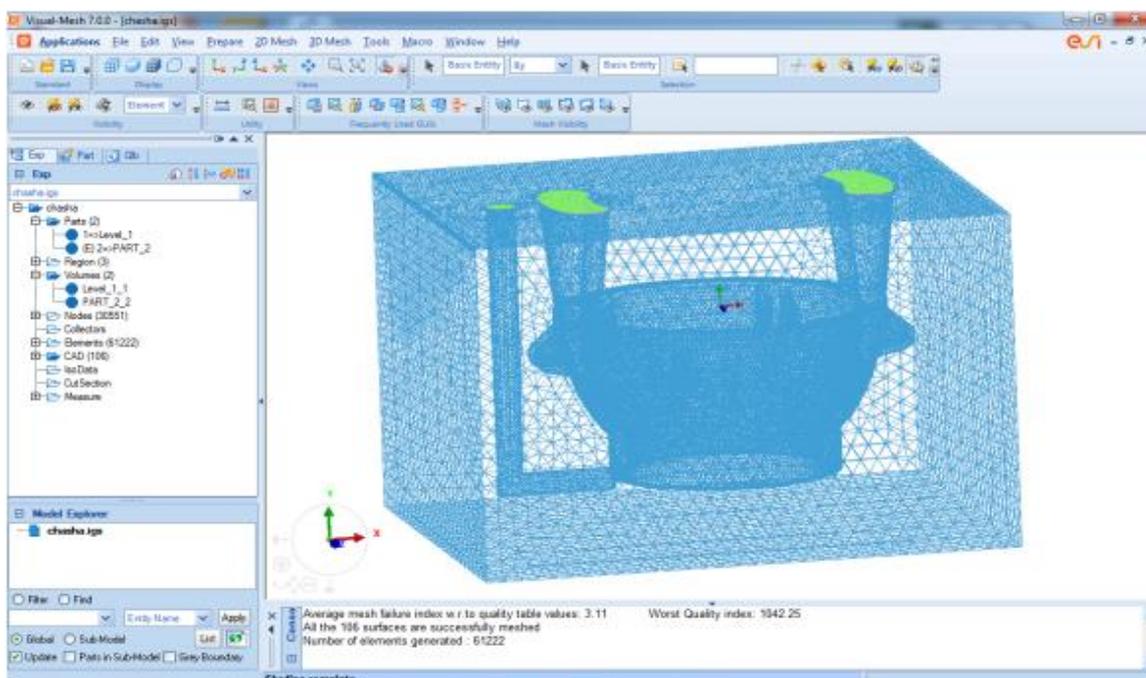


Рисунок 4.39 – Результат создания конечно-элементной сетки для сборки формы и отливки

Для подготовки к проведению расчётов с помощью файлового менеджера (File Manager) необходимо запустить PreCAST (см. вкладку на рис. 4.33). Из созданного ранее файла будет автоматически загружена сетка, а также появится окно с параметрами, описывающими сетку. Следующим этапом подготовки к проведению расчётов является выбор плоскости симметрии для отливки. Для этого используют вкладки Geometry – Symmetry (рис. 4.40). Появится вкладка Symmetry Specs:, в таблице которой устанавливают галочку во вкладке Mirror-1 и переводят курсор в поле X1 (рис. 4.41).

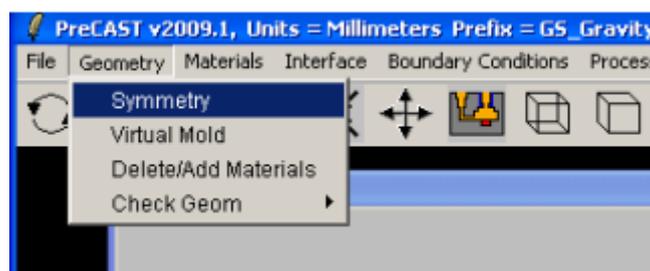


Рисунок 4.40 – Вкладка выбора и создания плоскости симметрии в отливке

Нажимают вкладку Get Co-ord и выделяют любой узел, лежащий на поверхности, по которой должна проходить плоскость симметрии. В

первой строке таблицы появятся координаты X1, Y1, Z1 выбранного узла.

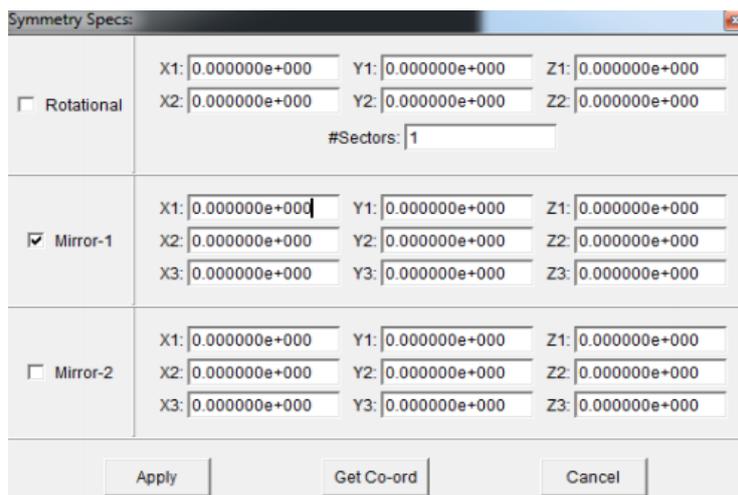


Рисунок 4.41 – Вкладка задания плоскости симметрии

Для корректного построения плоскости необходимо указать соответствующие координаты ещё 2 узлов, лежащих на той же поверхности. В результате действий все три строки будут заполнены.

Затем выполняют задание материалов отливки и формы. Для этого выбирают вкладку интерфейса Materials/Assign. В ProCAST рядом с графическим окном откроется новая панель с двумя таблицами. Верхняя таблица содержит перечень доменов модели, для которых задаётся материал. В нижней таблице представлена база данных материалов (рис. 4.42 а–б).



Рисунок 4.42 – Выбор материалов отливки и формы

При выделении в первой строке столбца Materials в графической части созданной модели сборки будет выделена форма (красным цветом). В нижней таблице CAE системы выбирают требуемый материал, например, SAND_Olivine или SAND Silica, и нажимают вкладку Assign. В столбце Type выбирают тип материала, для формы –

MOLD, или отливки – CASTING. В рассматриваемом случае устанавливают MOLD. В столбце Empty выбирают NO – для MOLD, и YES – для CASTING. Выполненная операция определяет, заполнен ли домен соответствующим материалом в начальный момент времени. Повторяют описанные выше операции для задания материала остальных элементов.

Переходят во вкладку задания условий процесса кристаллизации металла Exothermic.

Строка в первом столбце в таблице выделена красным. В пустой строке под таблицей вводят значение 0 и нажимают Enter. Остальные строки заполняют аналогично примеру, показанному на рисунке 4.43 – в поле Ignition Temperature (температура воспламенения) вводят 500 °С; в поле Exothermic Energy (энергия, выделяющаяся в виде тепла при экзотермической реакции) вводят значение 2000 кДж/кг.

Введённые данные означают, когда температура экзотермических прибылей достигнет 500 °С, за 2 минуты выделится 2000 кДж/кг тепла.

Основным правилом при проверке экзотермических свойств является время затвердевания в прибыли, которое должно быть в два раза больше рассчитанного для обычных прибылей. Затем нажимают Store.

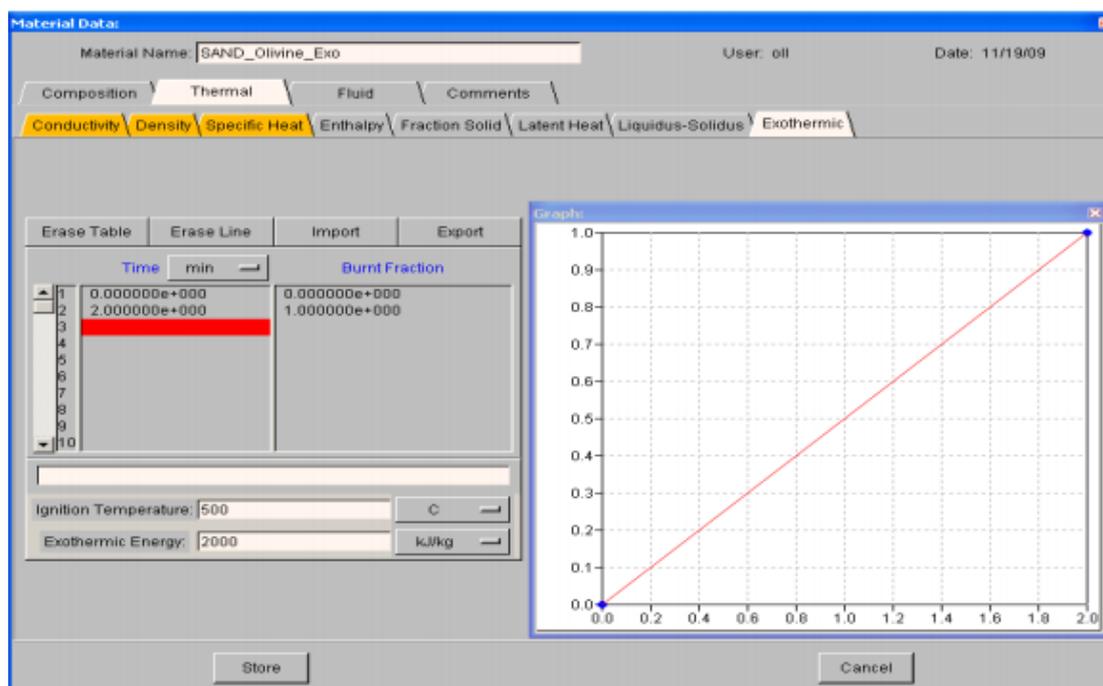


Рисунок 4.43 – Вкладка задания условий процесса заливки металла

Проводят выбор коэффициентов теплопередачи на границах раздела между материалами формы и отливки, используя вкладку Interface (границы раздела материалов). Для удобства работы модели

сборки отображают в каркасном виде с помощью вкладки . Справа от графической части CAE системы появится два окна. В первом перечислены все возможные пары доменов и их характеристики: для пары доменов «2 and 3» оставляют тип контакта EQUIV (эквивалентный); для всех остальных пар устанавливают тип контакта COINC (совпадающий). Для изменения типа контакта достаточно щелчка левой кнопкой мыши по соответствующей строке. Узлы на границе раздела материалов будут продублированы для того, чтобы можно было задать коэффициент теплопередачи.

Тип контакта EQUIV устанавливается для контакта типа отливка-отливка, т. е. никакого теплового потока между телами нет. В этом случае коэффициент теплопередачи между телами не устанавливается, поскольку это единое тело, разделённое на домены с технической целью. В данном случае это контакт литниковой системы и отливки.

Тип контакта COINC представляет обычный контакт двух разных тел. Сетка элементов сборки выполнена с совпадающими узлами. При таком варианте контактная поверхность определяется автоматически. MeshCAST строит сетку с совпадающими узлами, если использовать опцию во вкладке меню File – Assemble.

Возможен третий тип контакта – NCOINC, который представляет обычный контакт двух разных тел. Сетка элементов сборки (отливки и формы) выполнена с несовпадающими узлами. Чтобы определить контактную поверхность в этом случае, необходимо ввести минимальное расстояние между телами.

Нажимают вкладку Apply, в результате появится сообщение с предупреждением об увеличении количества узлов в сетке. Нажимают «ОК». Здесь требуется выполнить проверку каждой пары доменов. Для этого выделяют левой кнопкой мыши любую строку в столбце Material Pair (рис. 4.44). На экране один домен выделится красным цветом, другой – зелёным цветом. Красным должны быть выделены области, соответствующие отливке, зелёным – остальные элементы модели. При отсутствии такого совпадения задана неверная последовательность в парах. Для изменения необходимо кликнуть правой кнопкой мыши по имени пары доменов.

После определения типа контакта (для COINC и NCOINC) необходимо назначить соответствующие коэффициенты теплопередачи. Для этого выбирают пару «2 and 1» (в столбце Material Pair). Из нижней таблицы базы данных (рис. 4.44) выбирают « $h = 500$ » и нажимают вкладку Assign. Если после выбора нажать Read, появится информационное окно по выбранному коэффициенту теплопередачи. Можно добавить новый коэффициент, щелкнув на кнопку Add и заполнив соответствующие поля (рис. 4.45).

Для задания коэффициентов могут применяться данные, приведенные в таблице 4.36, которые поставщик программного продукта предлагает использовать в расчётах.

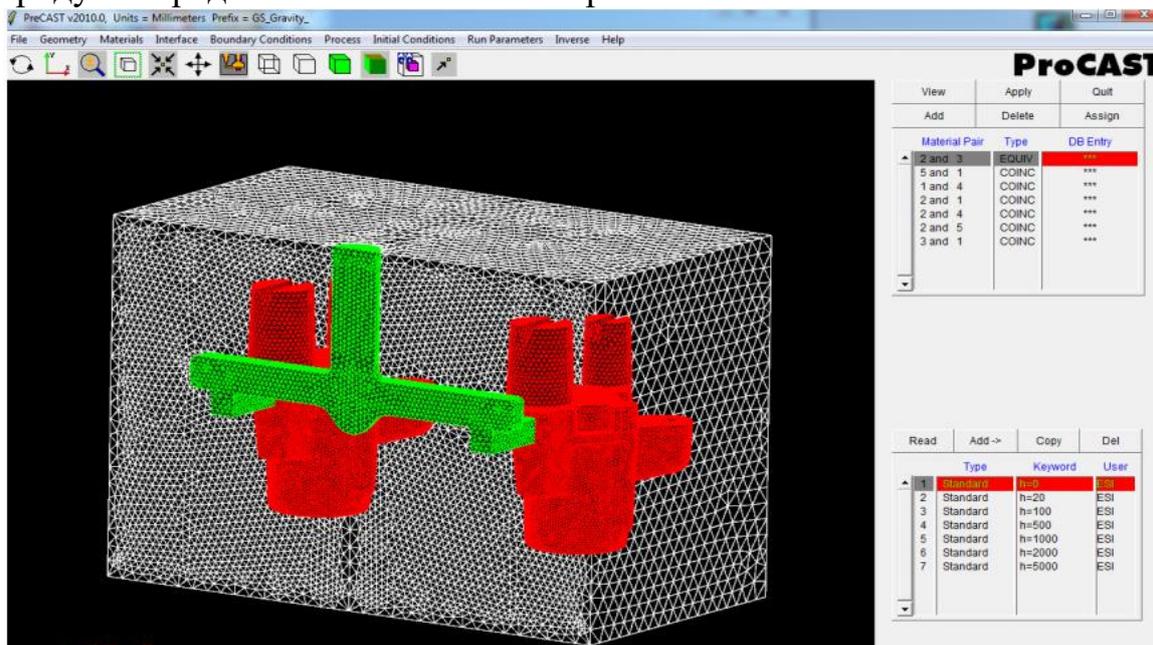


Рисунок 4.44 – Визуализация сочетаний доменов материалов

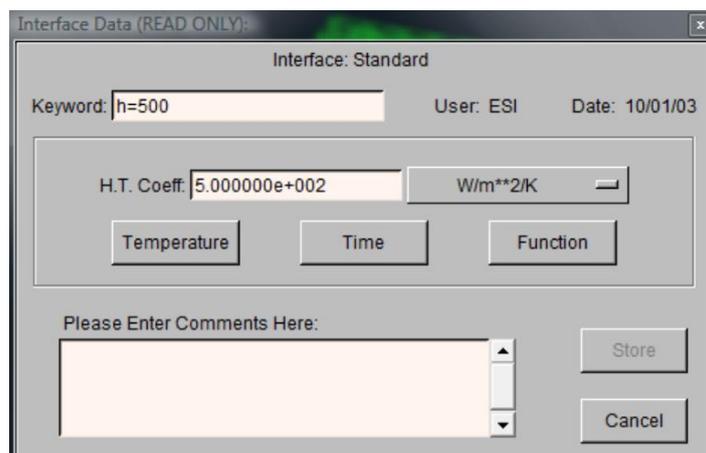


Рисунок 4.45 – Вкладка добавления коэффициентов теплопередачи

Таблица 4.36 – Коэффициенты теплопередачи для сочетаний материалов (Вт/(м²·К))

Металл – металл	1000–50000
Металл – песок	300–1000
Песок – песок	200–500
Тело – воздух	5–10
Тело – охлаждённый воздух	100–1000
Тело – вода	3000–40000

Аналогично задают значения коэффициентов теплопередачи для других пар доменов материалов, имеющих тип контакта COINC. В качестве примера могут быть заданы следующие данные « $h = 500$ – для других пар доменов «Металл-Форма (2 and 4; 2 and 5; 3 and 1)», « $h = 1000$ – для пары экзотермическая прибыль/форма (5 and 1)», « $h = 2000$ – для пары песчаная форма/песчаный стержень (1 and 4)». Пример заполнения значений показан на рисунке 4.46.

Затем устанавливают тепловые граничные условия на поверхностях модели, используя вкладку Boundary Conditions/Assign Surface, и вводят значения с помощью вкладки Add/Heat. Для этого выделяют внешние поверхности модели с помощью вкладок Propagate – Select, сохранение изменений – с помощью вкладки Store.

Поскольку металл заполняет форму из чаши, создают граничные условия на входе, выбирая вкладку Add/Inlet. Для этого выделяют узлы сетки на входе металла в форму, используя вкладку Select. Для корректного задания этого условия разработчики программного обеспечения рекомендуют выделять узлы конечно-элементной сетки так, чтобы они описывали полукруг. Нажимают Store для сохранения выделенных узлов.

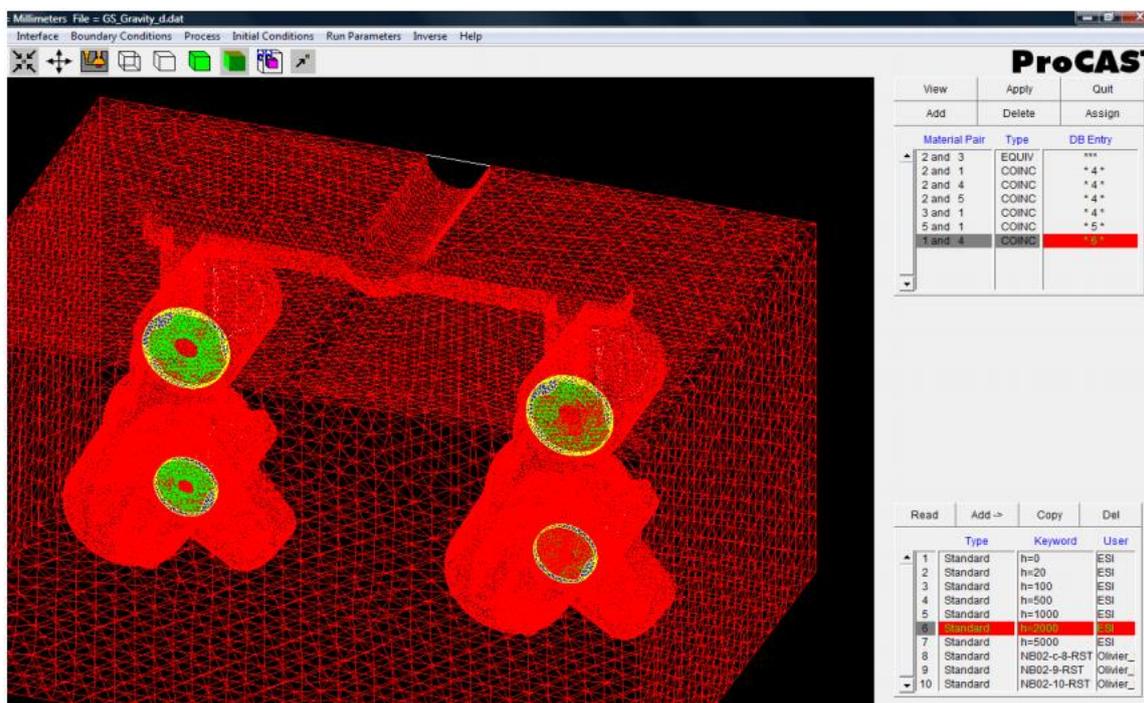


Рисунок 4.46 – Ввод коэффициентов теплопередачи для пар доменов

В нижней таблице раскрытой вкладки используют Add для задания параметров нового граничного условия Inlet в базе данных. Появится окно Boundary Condition Data (рис. 4.47).

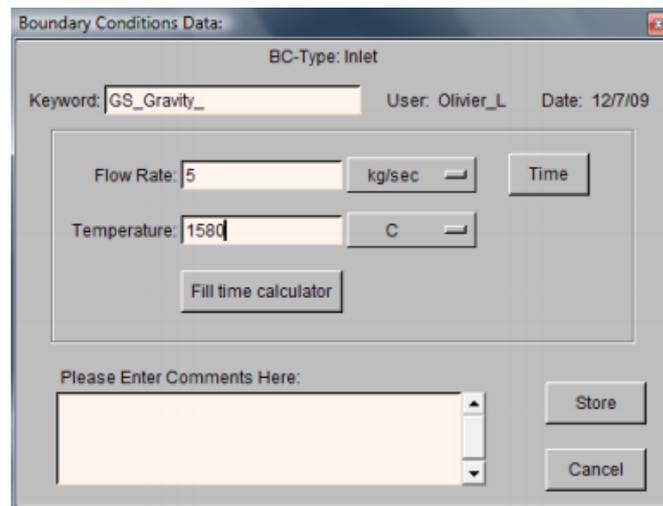


Рисунок 4.47 – Задание параметров на входе в форму при гравитационном литье

Во вкладке Flow Rate (скорость потока) вводят ориентировочную скорость потока, например, 5 кг/с, во вкладке Temperature – температуру заливаемого металла (1580 °C). Сохраняют введенные данные (Store). В верхней таблице рядом с графической областью CAE системы назначают новые условия на входе Inlet. Выбирают заданные выше значения и нажимают вкладку Assign. Здесь же может быть проверено время заполнения формы, которое рассчитывается в зависимости от заданных параметров во вкладке Inlet. Для этого во вкладке Boundary Conditions Data используют вкладку Fill time calculator. Появится новая вкладка Select casting materials, в которой выбирают домены, заполняемые металлом. Используя вкладку Calculate, получают рассчитанное время заполнения, которое будет отображено в строке Fill Time. Аналогичным способом можно рассчитать скорость потока и сравнить с заданной.

Поскольку заполнение формы осуществляется гравитационным способом, важно корректно задать направление вектора силы тяжести.

Для этого в интерфейсе CAE системы выбирают вкладку Process/Gravity, в результате чего откроется вкладка Gravity, в которой указаны направления осей координат, вдоль которых в модели будет осуществляться подача металла. В зависимости от расположения отливки к направлению подачи металла выбирают направление вектора силы тяжести. При нажатии на Z в окне вкладки рядом с ней автоматически будет установлено значение 9,8 («m/sec**2»). Двойной клик на координату Z установит значение -9,8 («m/sec**2»). Сохранение ввода выполняют с помощью вкладки Apply.

Устанавливают значения начальных температур для доменов материалов. В интерфейсе CAE системы используют вкладку Initial

Conditions/Constant, после раскрытия которой заполняют таблицу температур, вводя значение температуры в поле под таблицей и нажимая Enter (рис. 4.48).

Несмотря на то, что домены отливки изначально не заполнены, для корректного расчёта рекомендуется ввести для них значение начальной температуры равной температуре заливки металла.



Рисунок 4.48 – Вкладка ввода температуры доменов формы

Подключают модуль решателей ProCast. В верхней части инструментальной панели программного продукта находят вкладку Run Parameters. Появится меню настройки решателей. Каждая вкладка отвечает за определённый модуль ProCAST:

- Preferences – выбор предустановленных общих настроек для каждого вида расчёта;
- General – основные настройки моделирования;
- Thermal – параметры расчёта тепловой задачи (кристаллизация отливки и охлаждение);
- Cycles – параметры расчёта циклической задачи (расчёт нескольких циклов заливки и кристаллизации для литья в кокиль или под давлением с целью определения времени выхода формы на рабочий тепловой режим);
- Flow – параметры гидродинамической задачи;
- Turbulence – параметры расчёта турбулентного течения при заливке формы;
- Stress – параметры расчёта напряженно-деформированного состояния отливки;
- Micro – параметры расчёта фазовой структуры отливки (модуль микроструктуры);
- APM (Advanced Porosity Module) – параметры расчёта микропористости.

Заходят во вкладку *Prefereneces*, раскрывают *Select Predefined Set* и выбирают вкладку *Gravity Filling*, соглашаясь с появившимся сообщением (Yes). В этом случае программа будет использовать набор стандартных параметров для моделирования задачи заливки и кристаллизации процесса гравитационного литья и может выполнять следующие виды расчётов:

- *Default* – использование параметров всех решателей по умолчанию;

- *Gravity Thermal* – расчёт тепловой задачи для гравитационного литья (без расчёта заливки для литья в песчано-глинистые формы, в кокиль, по выплавляемым моделям, в оболочковые формы);

- *Gravity Filling* – расчёт заливки и кристаллизации для гравитационного литья;

- *HPDC Cycling* – расчёт циклической задачи для литья под высоким давлением;

- *HPDC Filling* – расчёт заливки и кристаллизации для литья под высоким давлением;

- *LPDC Filling* – расчёт заливки и кристаллизации для литья под низким давлением;

- *Tilt* – расчёт заливки литья с наклоном формы;

- *Centrifugal* – расчёт центробежного литья.

С целью ускорения процесса расчёта существует возможность остановки процесса моделирования с помощью вкладки *General*, в которой задают параметры остановки:

- *TFINAL* – остановка расчёта по реальному времени моделирования для случая, если известно время выдержки отливки в форме по технологии, это время в качестве конечного можно указать, чтобы получить температуру отливки и окончательное распределение остаточных напряжений, при котором будет проходить выбивка отливки;

- *TENDFILL* – остановка расчёта по времени после заливки. Этот параметр удобно использовать, если необходимо провести только расчёт времени заливки формы. В этом случае можно, например, установить параметр *TENDFILL=1*. Будет проведено моделирование полной заливки формы и добавлена ещё 1 секунда времени, после чего расчёт будет остановлен;

- *TSTOP* – остановка расчёта по температуре. Например, если необходимо провести заливку и кристаллизацию отливки, чтобы получить распределение усадочных дефектов, можно указать в качестве критерия остановки расчёта температуру по линии солидуса или чуть ниже. В этом случае расчёт остановится после окончательной кристаллизации отливки.

Пусть во вкладке NSTEP (количество шагов) установлено число 20000, значение конечной температуры, при которой расчёт останавливается – TSTOP, меньше линии солидуса. Затем переходят во вкладку Flow, в которой устанавливают значение, соответствующее проценту заполнения полости формы (выше принято 95 %). После этого решатель Flow отключается и проводится только тепловой расчёт. Нажимают вкладку Apply, что позволит сохранить введённые данные, запустить расчёт, а затем сохранить файл, последовательно нажимая вкладки – File/Optimize – File/Exit – «Да».

Нажимают вкладку в верхней инструментальной панели ProCAST, чтобы выбрать характер однопроцессорного расчёта (ProCAST Solver (Scalar)) или ProCAST Solver (Parallel) – для запуска параллельного решения задачи. Начало расчёта выполняют нажатием вкладки «Run».

Выполнение предыдущих этапов позволяет получить результаты расчёта и визуальные отображения температурных полей металла в процессе заполнения формы, кристаллизации металла, распределение твёрдой фазы в металле, оценить усадочную пористость и другие явления.

Визуальные результаты расчётов для детали типа «Корпус» в виде полей распределения температур в металле, заполняющем форму, векторного течения потока жидкого металла, распределения твёрдой фазы в сплаве приведены на рисунках 4.49–4.51.

Для удобства использования представленного выше программного обеспечения приводятся примеры подготовки расчётов, последовательность подготовки для их выполнения и визуализации широко используемых процессов литья: гравитационного, литья под давлением, литья по выплавляемым моделям и др.

По отзывам пользователей программный продукт ProCAST применим к различным технологическим процессам литья и позволяет полноценно проанализировать технологию с учётом любых условий литейного производства. Гибкость этого программного обеспечения и практический опыт его использования гарантируют решение различных задач литейного производства.

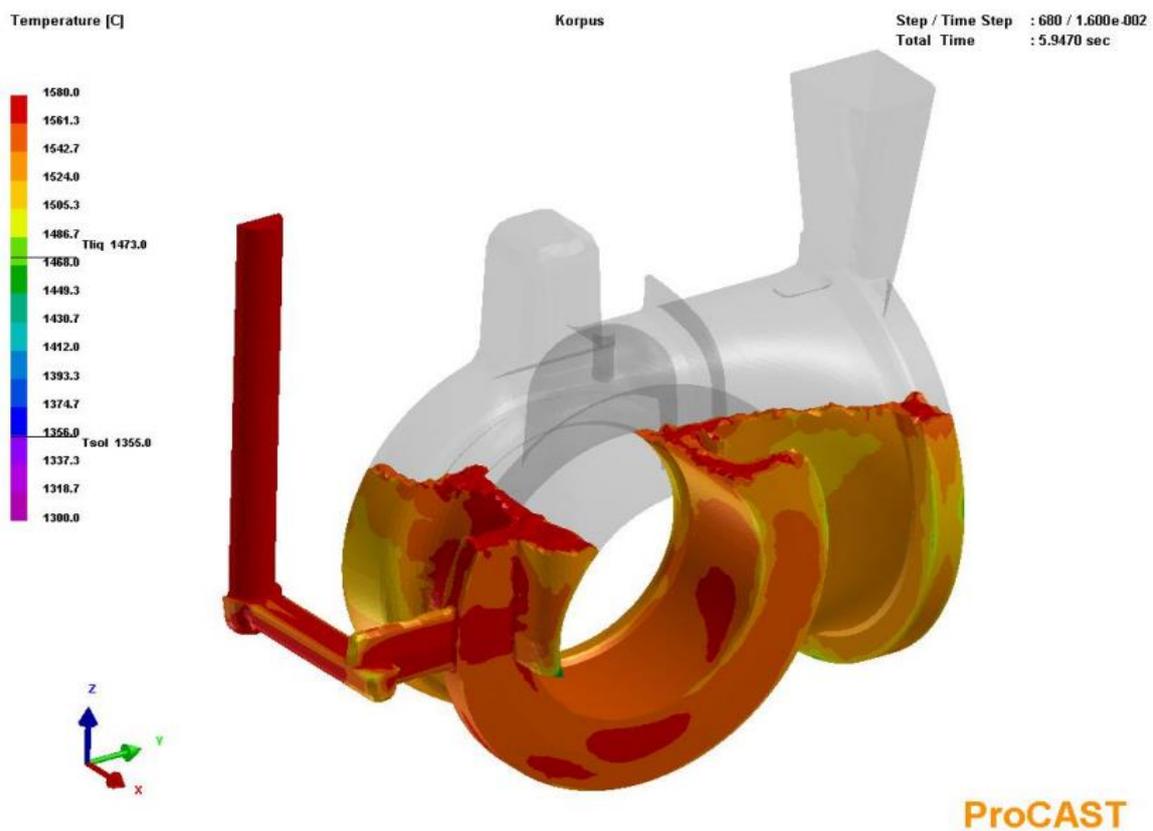


Рисунок 4.49 – Распределение температуры в отливке в течение времени заполнения формы

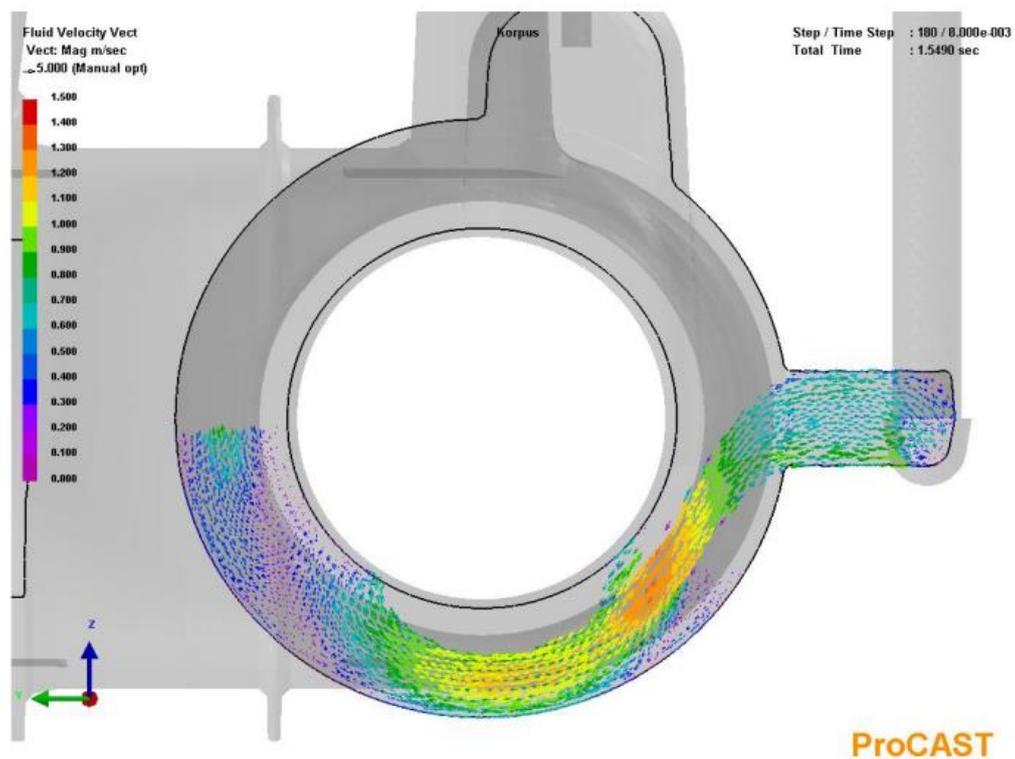


Рисунок 4.50 – Векторное отображение течения металла в форме

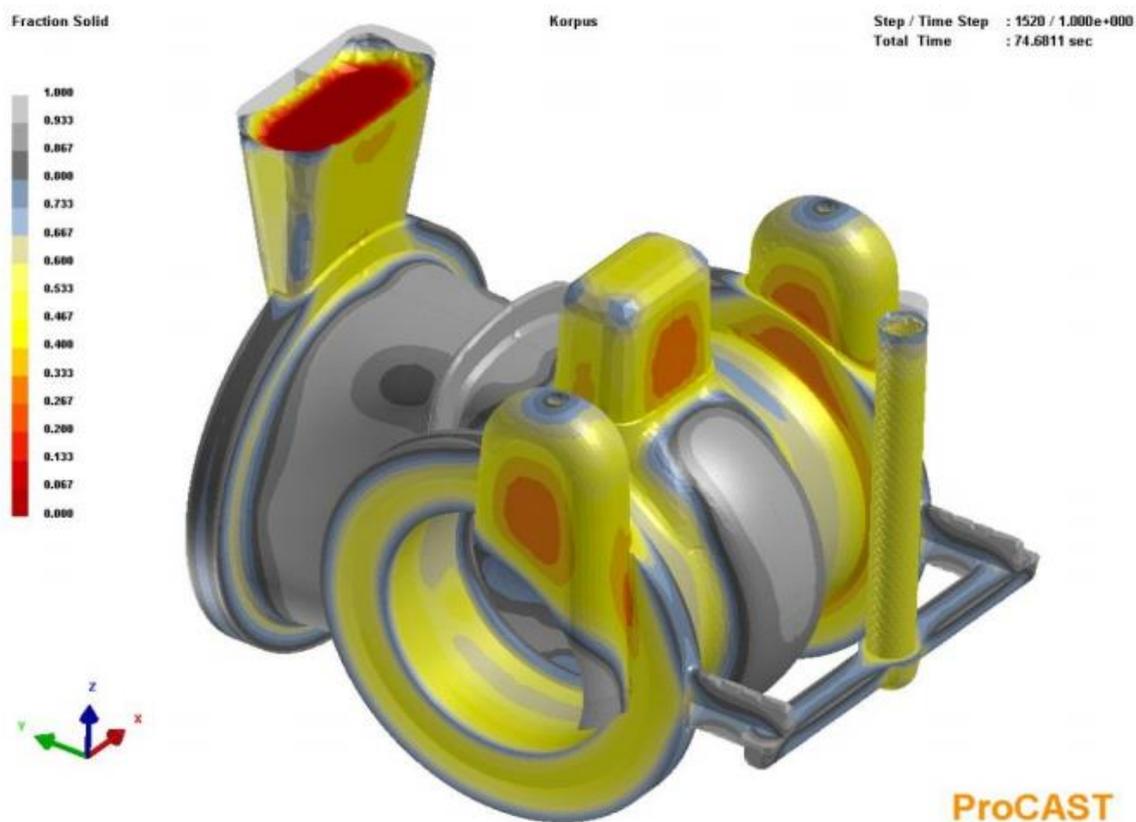


Рисунок 4.51 – Характер распределения твёрдой фазы в отливке

4.11 Проектирование отливок. Задание 11

Цель задания – освоить методику и приобрести навыки проектирования отливок.

Содержание и последовательность выполнения задания.

1. Изучить конструктивные параметры, технологические особенности отливок и процессов их изготовления литьём в песчаные и оболочковые формы, литьём по выплавляемым моделям, литьём в металлические формы, под давлением (подраздел 4.1, 4.3–4.7).

2. В соответствии с индивидуальным заданием по форме изделия ориентировочно определить его примерное назначение и назначить материал отливки.

3. По таблице 4.22 установить способ изготовления отливки и скорректировать в соответствии с технико-экономической эффективностью (табл. 4.21).

4. Выполнить анализ технологичности конструкции изделия и в соответствии с техническими рекомендациями (разделы 4.3–4.7) произвести корректировку формы изделия.

5. Установить класс размерной точности (табл. 4.2), степень коробления (табл. 4.3), степень точности поверхностей (табл. 4.4), класс точности массы (табл. 4.5), допуск смещения (табл. 4.6).

6. Выбрать положение плоскости разъёма, учитывая требования подраздела 4.1.

7. Определить ряд припусков отливки по таблице 4.9 в зависимости от степени точности её поверхностей (по табл. 4.4).

8. Определить величину общего припуска на обрабатываемые элементы детали в зависимости от общего допуска элемента поверхности, ряда припусков и вида окончательной обработки поверхности отливки. Для определения общего допуска используют данные, приведенные в таблице 4.8 в зависимости от допуска на размер от поверхности до базы и допуска формы и расположения этой поверхности (таблица 4.19).

9. По полученным в п. 8 значениям параметров из таблицы 4.10 определить общий припуск на сторону на обрабатываемые поверхности. Припуски на обрабатываемые поверхности наносят так, как показано на рисунках 4.3–4.5 в подразделе 4.3. Отверстия и другие элементы, не изготавливаемые при литье, перечеркивают сплошными тонкими линиями.

10. После определения припусков на механическую обработку на все поверхности, перпендикулярные плоскости разъёма назначить уклоны в соответствии с данными, указанными в таблице 4.11 и на рисунке 4.2 в подразделе 4.2. В этом случае необходимо учесть выбранный материал модели и размер поверхности от плоскости разъёма.

11. Для сопрягаемых поверхностей определить радиусы закруглений внутренних переходов (галтелей) стенок. Радиусы галтелей в отливках при литье в песчаные и оболочковые формы, а также в формы, изготовленные по выплавляемым моделям, выполняют равными примерно половине толщины сопрягаемых стенок (при небольшой их толщине), но не менее 1–2 мм, при литье в кокиль – равными полусумме толщин, при литье под давлением — 1/3 суммы толщин сопрягаемых стенок. Выбранный радиус закругления сравнивают со значениями ряда чисел согласно ГОСТ 10948 и принимают равным ближайшему числу. В одной отливке рекомендуется иметь минимальное число значений радиусов.

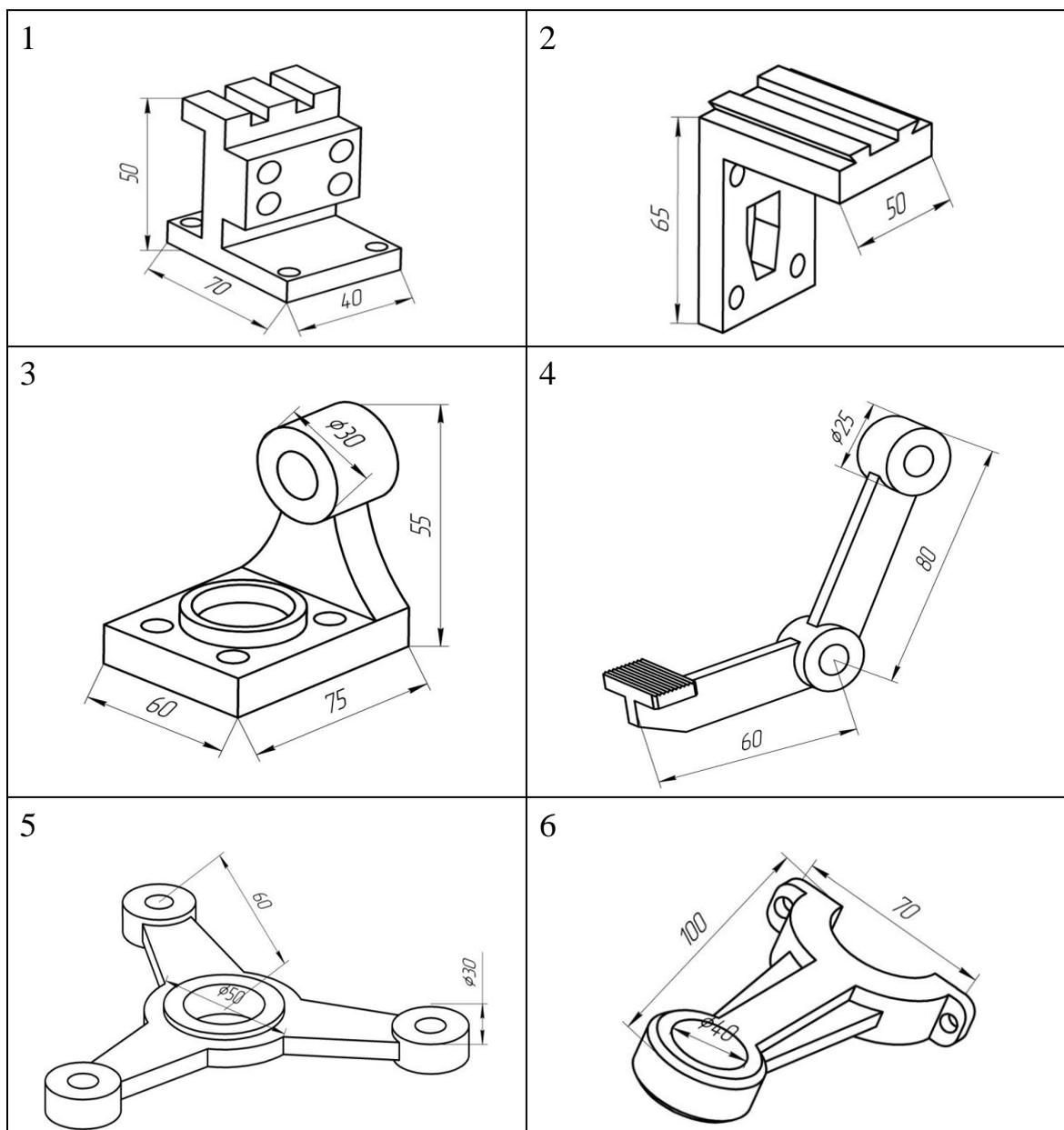
12. При наличии отверстий и полостей, формируемых стержнями, определить размеры вертикальных и горизонтальных знаков стержней, уклонов на них, величин технологических зазоров, учитывая указания, приведенные на рисунках 4.11–4.15, в таблицах 4.12–4.17.

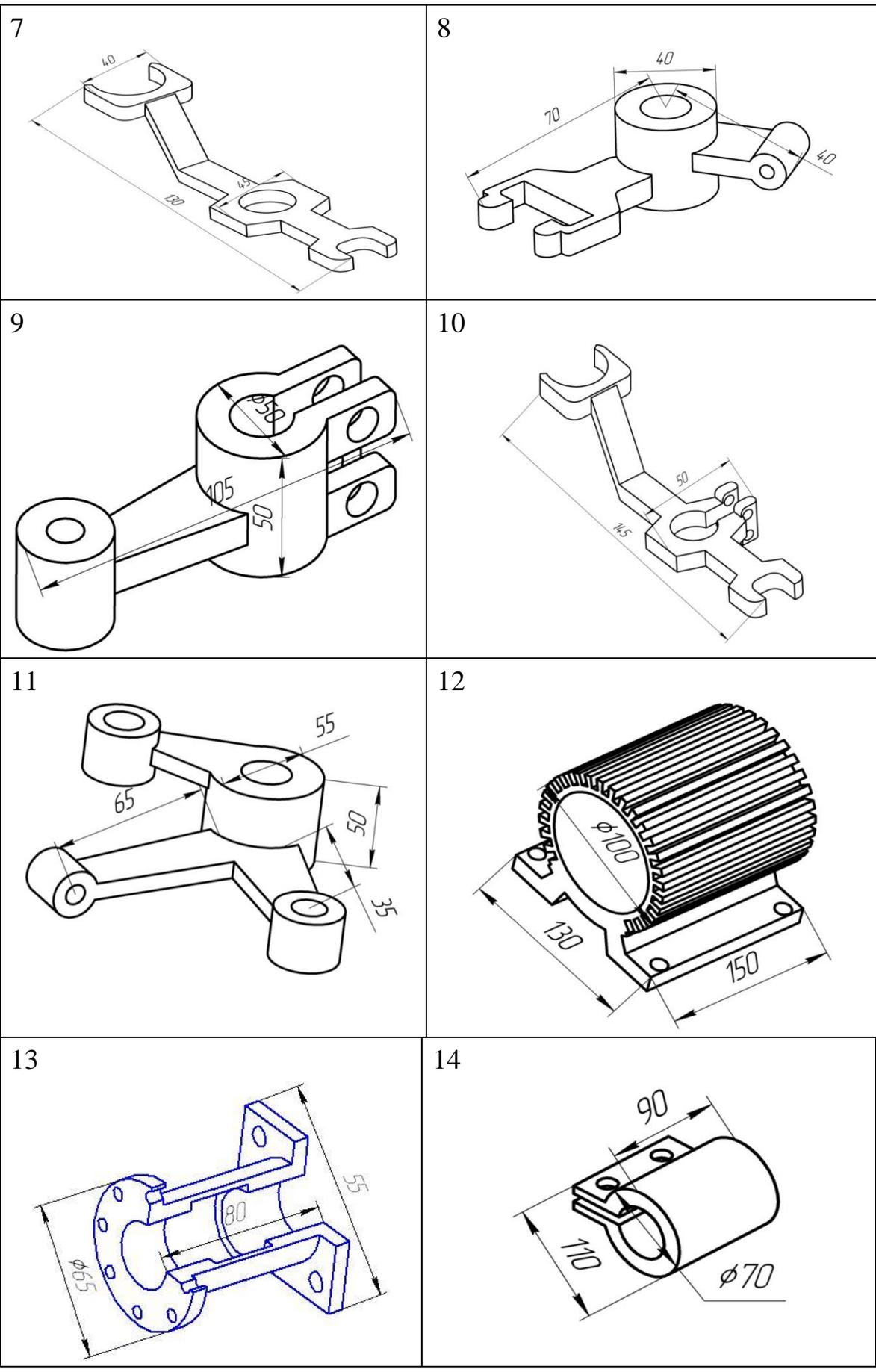
13. Учитывая припуски, уклоны, другие технологические указания рассчитать размеры отливки и найти допуски на все размеры

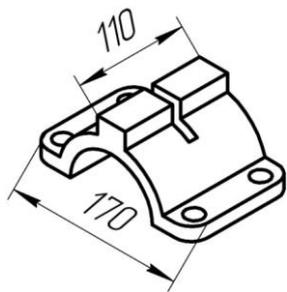
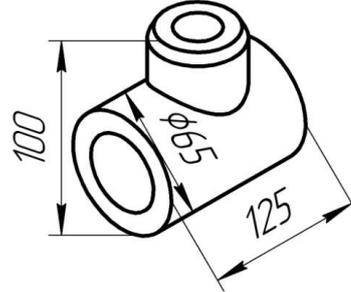
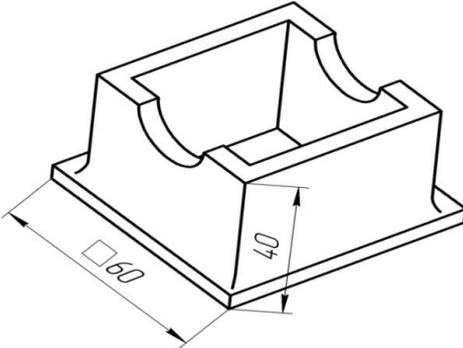
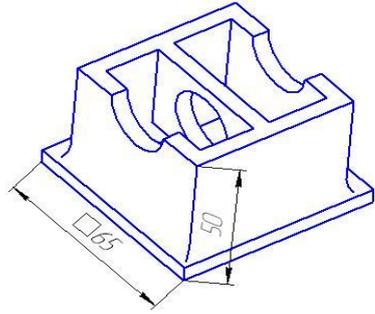
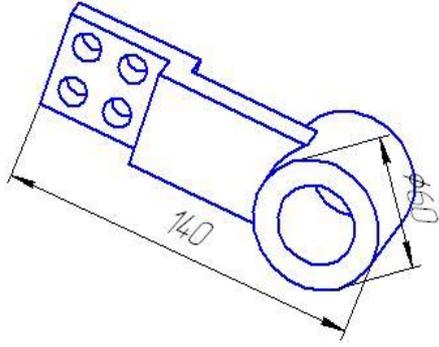
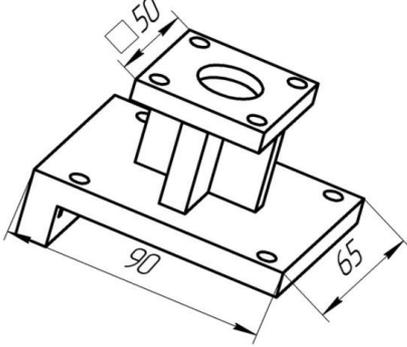
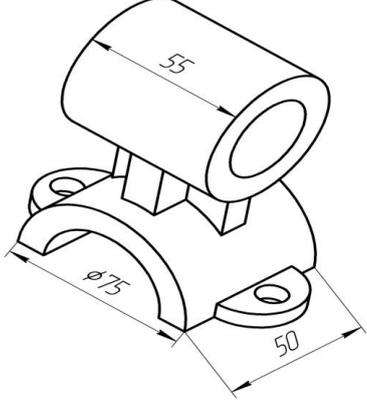
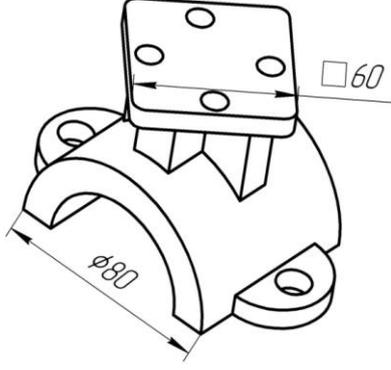
(по табл. 4.6), в том числе угловые, допуски формы и расположения элементов отливки (табл. 4.7), допуски круглости, соосности, симметричности, пересечения осей, позиционные допуски для соответствующих элементов, которые не должны превышать значений допусков на размеры соответствующих элементов, определённые по таблице 4.6, допуски неровностей поверхностей отливок (табл. 4.19), допуски массы (табл. 4.20).

14. Выполнить чертеж отливки в соответствии с правилами, изложенными в подразделе 4.3.

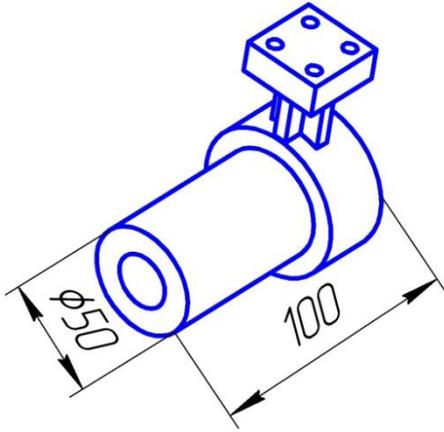
Варианты к заданию 11



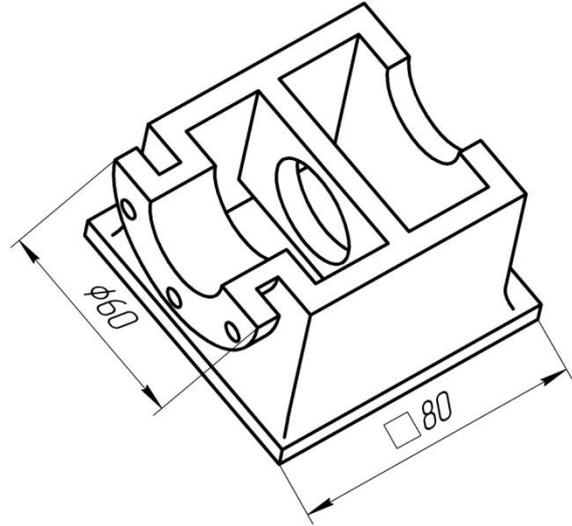


<p>15</p>  <p>110 170</p>	<p>16</p>  <p>100 125 $\phi 65$</p>
<p>17</p>  <p>60 40</p>	<p>18</p>  <p>65 50</p>
<p>19</p>  <p>140 40</p>	<p>20</p>  <p>50 90 65</p>
<p>21</p>  <p>55 50 $\phi 75$</p>	<p>22</p>  <p>60 $\phi 80$</p>

23



24



Рекомендуемая литература

1. Бер, В. И. Технология листовой штамповки : учебное пособие / В. И. Бер. [и др.]. – М. : Инфра-М, 2018. – 168 с.
2. Кондаков, А. И. Выбор заготовок в машиностроении : справочник / А. И. Кондаков, А. С. Васильев. – М. : Машиностроение, 2007. – 560 с.
3. Константинов, И. Л. Кузнечно-штамповочное производство : учебное пособие / И. Л. Константинов, С. Б. Сидельников. – М. : НИЦ Инфра-М; Красноярск : СФУ, 2014. – 464 с.
4. Константинов, И. Л. Основы технологических процессов обработки металлов давлением : учебник / И. Л. Константинов, С. Б. Сидельников. – М. : НИЦ Инфра-М. 2018. – 487 с.
5. Неуструев, А. А. Автоматизированное проектирование технологических процессов литья : учеб. пособие / А. А. Неуструев, В. С. Моисеев. – М. : МГАТУ, 1994. – 255 с.
6. Рогов, В.А. Современные машиностроительные материалы и заготовки : учебное пособие / В. А. Рогов, Г. Г. Позняк. – М. : Издательский центр «Академия», 2008. – 336с.
7. Руденко, П. А. Проектирование и производство заготовок в машиностроении : учеб. пособие / П. А. Руденко и [др.] ; под общей ред. В. М. Плескача. – К. : Выща шк., 1991. – 247 с.
8. Тимирязев, В. А. Технология производства и автоматизированное проектирование технологических процессов машиностроения : учебник / В. А. Тимирязев [и др.]. – Старый Оскол : ТНТ, 2017. – 319 с.
9. Цветное литьё : справочник / под общ. ред. Н. М. Галдина. – М. : Машиностроение, 1989. – 528 с.
10. АСКОН. Российское инженерное ПО для проектирования, производства и бизнеса. КОМПАС-3D. Система трёхмерного моделирования [Электронный ресурс]. – URL: <https://ascon.ru/products/?ysclid=la9r62n88a64318230> (дата обращения 10.09.2022).
11. CADMASTER. ProCAST – виртуальное моделирование литейных технологий [Электронный ресурс]. – URL: https://www.cadmaster.ru/magazin/articles/cm_35_procast.html (дата обращения 20.10.2022).
12. QFORM. Разработка и поставка программного обеспечения для моделирования, исследования и оптимизации процессов обработки металлов давлением [Электронный ресурс]. – URL : <https://qform3d.ru/> (дата обращения 10.11.2022).
13. QFORM 2D/3D. Программа для моделирования процессов обработки металлов давлением. V8. Часть 1. Начало работы

(qform_manual_part1.russian.pdf). – М. : ООО « КванторФорм», 2016. – 112 с.

14. Современные Технологии Производства. Компьютерное моделирование процессов объёмной штамповки [Электронный ресурс]. – URL : <https://extxe.com/10985/kompjuternoe-modelirovanie-processov-obemnojhtampovki/?ysclid=laar69ddo990749134> (дата обращения 10.11.2022).

Учебное издание

Клименков Степан Степанович
Савицкий Василий Васильевич

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАГОТОВОК
В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Учебник

Редактор *Р.А. Никифорова*
Компьютерная верстка *В.В. Савицкий*

Подписано к печати 11.01.2024. Формат 60x90¹/₁₆. Усл. печ. листов 15,8.
Уч.-изд. листов 20,0. Тираж 45 экз. Заказ № 12.

Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»
210038, г. Витебск, Московский пр-т, 72.
Отпечатано на ризографе учреждения образования
«Витебский государственный технологический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.