

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

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ЗАГОТОВОК**

**Лабораторный практикум**  
для студентов специальности  
1–36 01 01 «Технология машиностроения»  
заочной формы обучения

**Витебск**  
**2017**

УДК 620.17

Проектирование и производство заготовок : лабораторный практикум для студентов специальности 1–36 01 01 «Технология машиностроения»

Витебск, Министерство образования Республики Беларусь, УО «ВГТУ», 2016.

Составитель: доц. Савицкий В.В.

В практикуме рассматривается порядок выполнения работ в пределах учебной программы дисциплины «Проектирование и производство заготовок». Практикум предназначен для студентов специальности 1–36 01 01 «Технология машиностроения» заочной и заочно-сокращенной формы обучения.

Одобрено кафедрой «Машины и технологии высокоеффективных процессов обработки» «31» 08 2016 г., протокол № 1.

Рецензент:  
директор РИУП «Научно-технологический парк Витебского государственного технологического университета» К.С. Матвеев

Редактор:  
ст. преп. кафедры МТВПО УО «ВГТУ» Голубев А.Н.

Рекомендовано к опубликованию редакционно–издательским советом УО «ВГТУ» 28 сентября 2016 г., протокол № 7.

Ответственный за выпуск: Матвеева Н.Н.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»

Подписано к печати 11.04.17. Формат 60x90 1/16 Уч.– изд. лист. 3.3.  
Печать ризографическая. Тираж 30 экз. Заказ № 129

Отпечатано на ризографе учреждения образования «Витебский государственный технологический университет». Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатной продукции № 1/172 от 12.02.2014 г.  
210035, Витебск, Московский пр-т, 72.

## СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа 1. Разработка чертежа заготовки и технологического процесса её получения свободной ковкой на молоте .....	4
Лабораторная работа 2. Разработка чертежа заготовки и технологического процесса её получения штамповкой на молоте.....	16
Список использованных источников.....	39
Приложение А Пример оформления карты эскизов.....	40
Приложение Б Назначение припусков и допусков на поковки из углеродистой и легированной стали, изготавляемые ковкой на молоте.....	41
Приложение В Назначение припусков и допусков на поковки из углеродистой и легированной стали, изготавляемые штамповкой на молоте.....	50
Приложение Г Варианты индивидуальных заданий.....	53

# **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1**

## **РАЗРАБОТКА ЧЕРТЕЖА ЗАГОТОВКИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЕЁ ПОЛУЧЕНИЯ СВОБОДНОЙ КОВКОЙ НА МОЛОТЕ**

### **1 Цель работы**

- 1.1 Изучение и освоение методики расчета и конструирования чертежа поковки по рабочему чертежу детали.
- 1.2 Разработка технологического процесса получения заготовки свободной ковкой на молоте.

### **2 Порядок выполнения работы**

- 2.1 Получить эскиз детали.
- 2.2 Изучить последовательность выполнения работы, составленную в соответствии и с требованиями ГОСТ 7829–70 [1].
- 2.3 Выполнить работу в соответствии со следующей последовательностью:
  - 2.3.1 На основании эскиза детали разработать её рабочий чертеж с указанием марки стали, размеров, шероховатости обработанных поверхностей, технических требований.
  - 2.3.2 Определить и обозначить характерные элементы детали (концевые и промежуточные уступы, выступы, фланцы и т.п.).
  - 2.3.3 Найти основные припуски и предельные отклонения на номинальные размеры детали, обозначить припуски на чертеже детали и выполнить предварительный чертеж кованой заготовки с указанием её размеров с допусками.
  - 2.3.4 Определить дополнительные припуски на все сечения заготовки, кроме основного сечения, и разработать расчетный чертеж поковки.
  - 2.3.5 Проверить выполнимость каждого элемента кованой заготовки, назначив при необходимости кузнечные напуски. Выбрать тип ковочного оборудования и его основные параметры.
  - 2.3.6 Разработать окончательный чертеж поковки, указав размеры с допусками, составить технические требования.
  - 2.3.7 Рассчитать массу исходной заготовки, коэффициент выхода годного и коэффициент использования материала.
  - 2.3.8 Разработать основные технологические переходы ковки, выполнить эскизы переходов и необходимые расчеты.
  - 2.3.9 Установить температурный интервал ковки.

### **3 Выполнение работы**

- 3.1 Выполняется рабочий чертёж детали. Затем на его основании выполняется рабочий чертеж поковки с учетом требований ЕСКД, предъявляемых к выполнению работ данного вида, которые изложены в ГОСТ 3.1126–88 «ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЧЕРТЕЖЕЙ ПОКОВОК» [2]. Графический документ на поковку разрабатывают и выполняют на карте

эскизов (пример оформления карты эскизов приведен в приложении А). При этом допускается наносить контур детали, не приводя её отдельные элементы и выполняя его тонкой штрихпунктирной линией с двумя точками. На графическом документе на поковку допускается указывать под размерами поковки размеры детали в круглых скобках.

3.2 Наименование элемента детали зависят от её конструктивного исполнения. В [1] приведены конструкции деталей, к которым предъявляются требования действующего стандарта. В конструкцию детали входят фланцы, выступы, уступы, выемки, отверстия и т. д.

3.3 На обрабатываемые поверхности детали назначают **основные и дополнительные припуски**. Основные припуски и предельные отклонения назначают в соответствии с рисунком 1, таблицей 1 и следующими требованиями [1]:

- припуск  $\delta$  и предельные отклонения  $\pm\Delta/2$  на диаметр или размер сечения назначают по таблице 1 в зависимости от общей длины детали  $L$  и диаметра  $D$  или размера рассматриваемого сечения;

- припуск на общую длину детали принимают равным 2,5 припуска на диаметр или размер выступа максимального сечения;

- припуск на длину каждой ступени без учета концевых уступов принимают кратным 1,5 припуска на диаметр или размер максимального сечения; при этом длину уступов и выемок на чертеже поковки указывают от единой базы. За базу принимают торец выступа наибольшего сечения, не являющийся торцом поковки;

- предельные отклонения на длину уступов и выступов принимают равными 1,5 отклонениям  $\pm\Delta/2$  на диаметр или размер выступа наибольшего сечения согласно рисунка 1;

- если длина между засечками перед ковкой выемки меньше ширины бойка, то допускается увеличение припуска и предельных отклонений на 10 % против значений, приведенных в таблице 1.

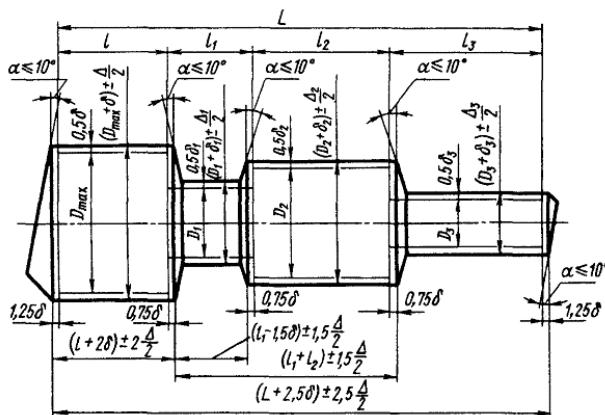


Рисунок 1 – Схема расчета и назначения припусков и допусков

Используя схему расчетов, показанную на рисунке 1, и приведенные выше требования, для выданной студенту детали необходимо составить схему

расчета её размеров от выбранной базы. При расчете размеров учитывают размеры детали и **припуски** на обработку, которые назначают для размера сечения – по таблице 1, для размеров длин ступеней детали – с учетом кратности припуска на размер максимального сечения.

Таблица 1 – Припуски и предельные отклонения для поковок круглого, квадратного и прямоугольного сечения длиной до 6000 мм

Длина детали <i>L</i> , мм	Диаметр детали <i>D</i> или размер сечения <i>B, H</i> , мм								
	до 50	св. 50 до 70	св. 70 до 90	св. 90 до 120	св. 120 до 160	св. 160 до 200	св. 200 до 250	св. 250 до 300	св. 300 до 360
	Припуски ( $\delta_i$ ) и предельные отклонения ( $\pm\Delta_i/2$ ), мм								
До 250	5±2	6±2	7±2	8±3	9±3				
Св. 250 до 500	6±2	7±2	8±2	9±3	10±3	11±3	12±3	13±4	14±4
Св. 500 до 800	7±2	8±2	9±3	10±3	11±3	12±3	13±4	14±4	15±4
Св. 800 до 1200	8±2	9±3	10±3	11±3	12±3	13±4	14±4	15±4	16±4
Св. 1200 до 1700	–	10±3	11±3	12±4	13±4	14±4	15±4	16±5	17±5
Св. 1700 до 2300	–	11±3	12±3	13±4	14±4	15±4	16±5	17±5	18±5
Св. 2300 до 3000	–	–	13±4	14±4	15±4	16±5	17±5	18±5	19±5
Св. 3000 до 4000	–	–	–	15±5	16±5	17±5	18±5	19±5	20±6
Св. 4000 до 5000	–	–	–	16±5	17±5	18±5	19±5	20±6	21±6
Св. 5000 до 6000	–	–	–	–	18±5	19±5	20±6	21±6	22±6

Примечание. Припуски для прямоугольного сечения детали назначают в зависимости от наибольшего размера сечения.

При наличии уступов, выступов, фланцев, выемок и других конструктивных элементов в детали кроме основного припуска назначают **дополнительный припуск *S***, который позволяет компенсировать возникающие дополнительные погрешности поковки в процессе ковки (сдвиги элементов относительно друг друга при ковке, их несоосность, смещение и т. д.). Дополнительный припуск *S* следует назначать по таблице 2 на диаметры

(размеры) всех сечений, кроме **основного**, в зависимости от разности диаметров (размеров) наибольшего и рассматриваемого сечений детали, с назначенными на нее основными припусками.

Таблица 2 – Дополнительный припуск для поковок круглого, квадратного и прямоугольного сечения

Разность диаметров (размеров) наибольшего и рассматриваемого сечений	До 40	Св. 40 до 80	Св. 80 до 100	Св. 100 до 120	Св. 120 до 140	Св. 140 до 160	Св. 160 до 180	Св. 180
Дополнительный припуск на диаметр (размер) $S_1, S_2, S_4 \dots$	3	4	5	6	7	8	9	10

**Основное** сечение определяют в следующем порядке:

а) если поковка имеет ступень с необрабатываемой поверхностью, то за основное сечение принимают ступень с необрабатываемой поверхностью;

б) если поковка не имеет ступеней с необрабатываемой поверхностью, то для определения основного сечения рассчитывают площади продольных сечений ступеней  $D_1 \times l_1; D_2 \times l_2; D_3 \times l_3 \dots$  и сравнивают их с площадью продольного сечения выступа с наибольшим диаметром  $D_{max} \times l'$ ; если все получаемые значения  $D_1 \times l_1; D_2 \times l_2; D_3 \times l_3 \dots$  меньше, чем  $D_{max} \times l'$ , то за основное сечение принимают выступ с наибольшим диаметром;

если есть значения  $D_1 \times l_1; D_2 \times l_2; D_3 \times l_3 \dots$  больше, чем  $D_{max} \times l'$ , то для тех значений  $D_1 \times l_1; D_2 \times l_2; D_3 \times l_3; \dots$ , которые больше  $D_{max} \times l'$ , рассчитывают величины

$$\begin{aligned} &_1 = S_1 \cdot (D_1'' \cdot l'_1 - D_{max}' \cdot l'), \\ &_2 = S_2 \cdot (D_2' \cdot l'_2 - D_{max}'' \cdot l') \text{ и т. д.} \end{aligned} \quad (1)$$

и за основное сечение принимают сечение, для которого величина  $A$  имеет наибольшее значение;

если за основное сечение принят не выступ наибольшего диаметра  $D_{max}$ , то дополнительный припуск переносят с основного сечения на выступ наибольшего диаметра.

Полученные величины основных и дополнительных припусков наносят на соответствующие поверхности детали тонкими линиями и оформляют в виде расчетного чертежа поковки.

Пример назначения припусков и предельных отклонений приведен в приложении А.

3.4 Проверяют выполнимость на поковках концевых и промежуточных уступов, выемок, фланцев и буртов, которая зависит от разности диаметров элементов поковки, прилегающих друг к другу, а также от соотношения длины

элементов поковки к ширине бойка молота, на котором выполняют операции ковки. Проверку выполняют после назначения основных и дополнительных припусков в соответствии с таблицей 3 и с учетом следующих требований:

а) концевые и промежуточные уступы (рисунок 2) выполняют, если их высоты  $h'_1; h'_2; h'_3, \dots$  не менее значений, приведенных в таблице 3, и если их длина  $l'_1; l'_2; l'_3$  по отношению к ширине бойка  $B_b$  составляет величину не менее указанной в таблице 4.

Размеры зеркала бойка, включающие их ширину  $B_b$  и длину  $L_b$ , определяют в зависимости от номинальной массы падающих частей молота. Фактически на этом этапе проводят выбор ковочного оборудования. Номинальная масса падающих частей молота определяется в зависимости от максимального диаметра поковки и её массы в соответствии с диаграммой, приведенной на рисунке 3. Затем по таблице 5 определяют искомые размеры зеркала бойка молота.

Таблица 3 – Выполнимость на поковках концевых и промежуточных уступов, фланцев и буртов

Диаметр ( $D'_1; D'_2; D'_3$ ) или размер (B) уступа	До 100	Св. 100 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250
Минимальная выполнимая высота уступа ( $h'_1; h'_2; h'_3$ )	4	5	6	7

Таблица 4 – Минимальная длина выполнимых концевых и промежуточных уступов

Ширина бойка $B_b$	До 150	Св. 150 до 300	Св. 300
Минимальная длина выполнимого уступа ( $l'_1; l'_2; l'_3$ )	$0,3 B_b$	$0,4 B_b$	$0,5 B_b$

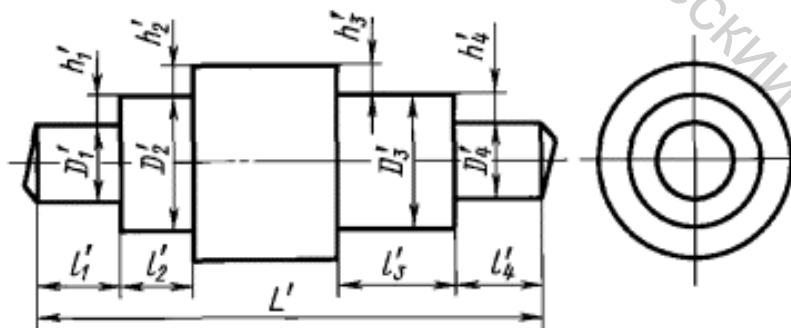


Рисунок 2 – Схема проверки выполнимости уступов

При этом, если высота уступа  $h'_1; h'_2; h'_3, \dots$  менее значений, указанных в таблице 3, то уступ отковывают по диаметру соседнего выступа;

если длина уступа менее значений, приведенных в таблице 4, то его отковывают в том случае, когда объем напуска при доведении его длины до выполнимой меньше, чем объем напуска при отковке его по диаметру

соседнего выступа. В этом случае удается уменьшить объем материала, который уйдет в стружку при последующей механической обработке.

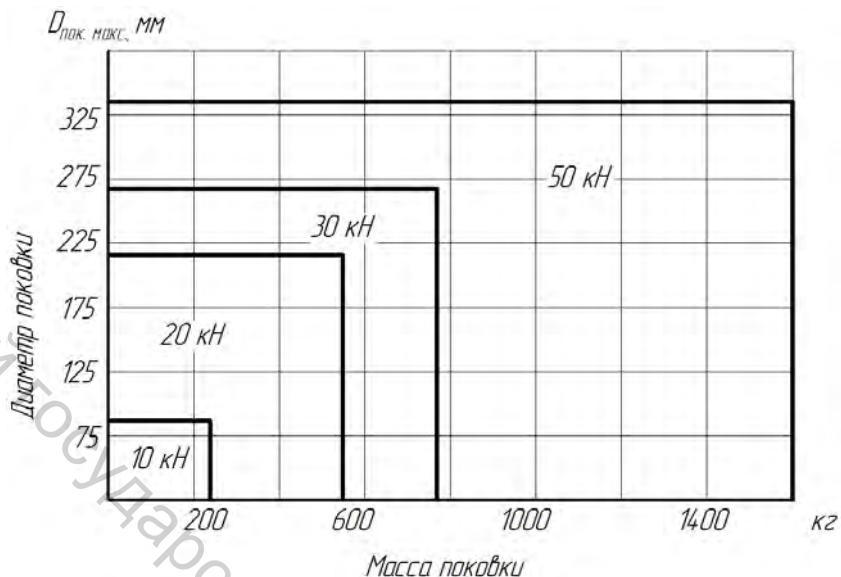


Рисунок 3 – Диаграмма для выбора массы падающих частей молота при ковке заготовок с уступами

Таблица 5 – Размеры зеркала бойков

Номинальная масса падающих частей, кН	Размеры зеркала бойка $L_b \times B_b$ , мм	Номинальная масса падающих частей, кН	Размеры зеркала бойка $L_b \times B_b$ , мм
Паровоздушные молоты			
10	400 x 240	50	710 x 400
20	530 x 300	80	800 x 480
31,5	600 x 350		
Пневматические молоты			
0,75	145 x 65	4,0	265 x 100
1,5	200 x 85	7,5	345 x 130
2,5	225 x 90	10,0	390 x 150

б) выемку (рисунок 4) выполняют, если длина  $l'_2$  между засечками (рисунок 5) перед ковкой выемки по отношению к ширине бойка  $B_b$  составляет величину не менее указанной в таблице 6;

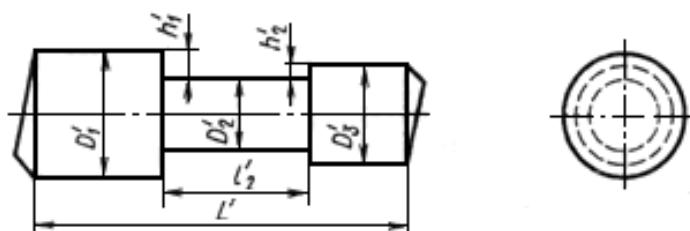


Рисунок 4 – Геометрические параметры выемки

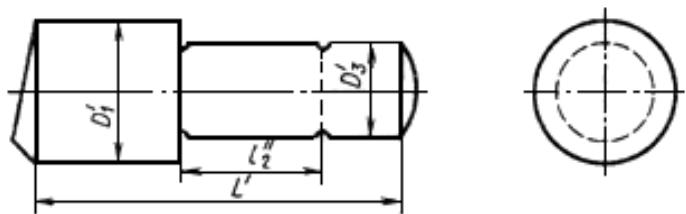


Рисунок 5 – Геометрические параметры поковки перед ковкой выемки

Таблица 6 – Минимальная длина выполнимой выемки в зависимости от длины участка между засечками

Ширина бойка $B_b$	До 300	Св. 300 до 400	Св. 400
Минимальная длина участка между засечками ( $l_2'$ )	$0,5 B_b$	$0,7 B_b$	$B_b$

Если длина участка  $l_2'$  поковки, присекаемого для выполнения выемки, менее указанного в таблице 5, то на диаметр выемки назначают напуск из расчета, чтобы длина присечки  $l_2'$  была равна соответствующему значению таблицы 5;

в) фланец (рисунок 6а) выполняют, если его длина  $l'$  более высоты выступа  $h_1'$ , взятой с коэффициентом 1,2, но не менее  $0,2D'$ ;

если длина  $l'$  фланца меньше высоты выступа  $h_1'$ , взятой с коэффициентом 1,2 или меньше  $0,2D'$ , то длину фланца доводят до выполнимого размера за счет напуска или со стороны торца или со стороны уступа, исходя из условий минимального объема напуска;



Рисунок 6 – Геометрические параметры для проверки выполнимости фланцев

г) бурт (рисунок 6б) выполняют, если его длина  $l'$  более высоты  $h_2'$ , меньшего прилегающего уступа, но не менее  $0,2D'$ ;

если длина бурта  $l'$  менее высоты  $h_2'$  меньшего прилегающего уступа или менее  $0,2D'$ , то длину бурта  $l'$  доводят до выполнимого размера за счет напуска со стороны любого из торцов из условия, чтобы объем напуска был минимальным.

Припуски и предельные отклонения для поковок типа дисков, цилиндров, втулок, брусков, кубиков, пластин сплошных и дисков, пластин с отверстиями, для поковок типа раскатных колец, для поковок типа втулок с уступами, сплошных и с отверстием, изготавляемых в подкладных кольцах, а также для

поковок типа цилиндров с отверстием следует назначать в соответствии данными, приведенными в таблицах и на чертежах ГОСТ [1]. Контроль фактических припусков и отклонений размеров поковок, изготовленных на молотах, осуществляется на основании чертежа поковки.

Допускается неравномерное расположение припусков, возникающее вследствие эллиптичности сечения, несоосности отдельных частей поковки, прогиба поковок, сдвига сечений, неперпендикулярности граней, наружных радиусов закруглений, утяжки при пошивке и отрубке, смещения отверстия при прошивке.

Предельные значения одностороннего припуска при неравномерном его расположении в любом сечении поковки не должны выходить из границ, указанных на рисунке 7. При этом фактические размеры в отдельных частях поковки не должны выходить за предельные отклонения на размер в целом.

Поверхностные дефекты на поковках по характеру и величине не должны превышать соответствующие нормы, установленные ГОСТ 8479 [3].



Рисунок 7 – Предельные значения одностороннего припуска при неравномерном его расположении

Скосы, галтели, величины внутренних радиусов закруглений поковок не контролируются. Не контролируется также сферичность торцов поковки, если не производится их отрубка и сферичность боковой поверхности поковок, изготовленных методом ковки осадкой без обкатки по диаметру.

3.5 Проверка выполнимости всех элементов поковки позволяет определить при необходимости кузнецкие напуски, что отображается на рабочем чертеже поковки. После этого окончательно оформляют рабочий чертеж поковки, на котором показывают все расчетные размеры поковки с допускаемыми отклонениями (пример оформления приведен в приложении Б).

3.6 Рабочий чертеж поковки служит основой для расчета массы исходной заготовки, коэффициента выхода годного и коэффициента использования материала.

Для расчета массы поковки её разбивают на отдельные элементарные объемы, которые находят по номинальным размерам и суммируют их друг с другом.

Для ступенчатого вала объем отдельной ступени равен

$$V_{\text{п}} = \frac{\pi \cdot d_i^2}{4} \cdot l_i, \quad (2)$$

где  $d_i$ ,  $l_i$  – диаметр и длина отдельной цилиндрической ступени.

К сумме объемов цилиндрических ступеней необходимо добавить технологические отходы, учитывающие особенности выполнения ковочных операций (скосы после рубки, скосы между уступами и др.), а также отходы на угар металла, появляющиеся при его нагреве до ковочных температур.

Если при ковке поковок типа валов не предусмотреть напуски на обрубку концов, не выдерживаются размеры по длине и ухудшается качество торцов, поскольку образуется бочка или коническая утяжка, увеличивающие объем последующей механической обработки.

Величина напуска на обрубку при ковке на молоте составляет

$$– \text{для круглой поковки } L=0,36 \cdot D_{\text{nok}} + 15; \text{ (мм),} \quad (3)$$

$$– \text{для поковки прямоугольного сечения } L=0,25 \cdot A_{\text{nok}} + 15. \quad (4)$$

При ковке на прессе напуск на обрубку составляет

$$– \text{для круглой поковки } L=0,25 \cdot D_{\text{nok}} + 25; \text{ (мм),} \quad (5)$$

$$– \text{для поковки круглого сечения } L=0,13 \cdot A_{\text{nok}} + 50, \quad (6)$$

где  $D_{\text{nok}}$  и  $A_{\text{nok}}$  – диаметр или меньшая сторона прямоугольного сечения поковки.

Отходы на угар зависят от выбранного способа нагрева и определяют в процентах от массы нагреваемого металла:

- при нагреве в печах с жидким топливом угар составляет 2÷3 %,
- при нагреве в печах на газе – 1,5÷2 %,
- при электрическом нагреве – 0,5–1 %.

Большее предельное значение принимается при нагреве слитков, меньшее – при нагреве заготовок из проката.

Рассчитав необходимые значения, определяют общий объем металла, необходимый для изготовления заготовки

$$V_{\text{заг}} = V_{\text{nok}} + V_{\text{обр}} + V_y, \quad (7)$$

где  $V_{\text{nok}}$  – объем поковки, рассчитанный по номинальным размерам;  $V_{\text{обр}}$  – объем металла при обрубке концевых отходов;  $V_y$  – объем металла на угар.

Затем находят диаметр исходной заготовки. При ковке поковок типа ступенчатых валов диаметр исходной заготовки устанавливают по максимальному диаметру его ступени и выбранной степени уковки. При ковке заготовок из проката минимальная степень уковки  $y_{\min} \geq 1,25$ , поскольку

приведенная степень деформации обеспечивает измельчение выросших при нагреве зёрен металла:

$$y = \frac{F_{\text{заг}}}{F_{\text{пок}}} = \frac{D_{\text{заг}}^2}{D_{\text{пок max}}^2}. \quad (8)$$

Зная максимальный диаметр поковки (по чертежу) и принятую степень уковки, определяют расчетный диаметр исходной заготовки, который округляют до ближайшего большего значения по сортаменту проката [4]:

$$D_{\text{заг}} = \sqrt{y \cdot D_{\text{пок max}}^2}. \quad (9)$$

Длину заготовки определяют исходя из известного объема исходной заготовки и найденного по сортаменту диаметра проката:

$$l_{\text{заг}} = \frac{4 \cdot V_{\text{заг}}}{\pi \cdot D_{\text{заг}}^2}. \quad (10)$$

Полученное значение округляют до первого знака после запятой.

Коэффициент использования металла  $K_H$  – величина, определяемая отношением массы изделия к норме расхода металла на её изготовление:

$$K_H = \frac{M_D}{H}, \quad (11)$$

где  $M_D$  – масса детали;  $H$  – норма расхода металла на одну деталь.

Коэффициент выхода годного определяют по формуле:

$$K_{\text{вр}} \frac{M_{\text{пок}}}{M_{\text{заг}}}, \quad (12)$$

где  $M_{\text{пок}}$  – масса поковки;  $M_{\text{заг}}$  – масса исходной заготовки.

3.7 Затем разрабатывают последовательность выполнения переходов ковки. Последовательность составляют так, чтобы обеспечивалась ковка всех ступеней заготовки. При этом учитывают соотношение между длиной и максимальным диаметром исходной заготовки. При  $l_{\text{заг}}/D_{\text{заг}} \leq 2,5$ , в качестве первой технологической операции выбирают осадку с выбранным коэффициентом уковки, который позволяет рассчитать размер заготовки после осадки. После осадки проводят протяжку заготовки до максимального диаметра поковки. Затем выполняют ковку каждой новой ступени. Выполнение расчетов проводят на основе закона постоянства объемов заготовки до и после ковки, которые должны быть равны. Все расчеты поясняются операционными

эскизами, которые графически показывают сущность выполняемых кузнецом действий. Кроме этого, указывают содержание каждого технологического перехода в повелительном наклонении («осадить заготовку до диаметра...», «протянуть заготовку ...», «отрубить отход ...» и т. д.).

Пример последовательности переходов ковки ступенчатого вала приведен в приложении Б.

3.8 Устанавливают температурный интервал ковки для заданной марки стали с учетом её состояния (литая или прокатанная), скорости деформирования, степени деформации, массы поковки.

Химический состав сталей влияет на их ковкость. Углеродистые стали в области температур выше линии *GSE* (по диаграмме состояния) обладают хорошей пластичностью и небольшим сопротивлением деформации, но с повышением содержания углерода прочность стали растет, а пластичность снижается. В стальях, нагретых выше верхней критической точки  $A_{C_3}$ , наблюдается рост зерна аустенита. Чем дольше нагревается сталь и чем выше температура нагрева, тем крупнее становится зерно. Во время ковки крупные зерна измельчаются (дробятся), но в зависимости от того, при какой температуре закончена ковка, структура стали может быть крупнозернистой или мелкозернистой, а сама сталь будет иметь соответственно низкие или высокие механические свойства. Если ковка закончена при высокой температуре, раздробленные зерна, объединяясь вместе, укрупняются. Этот процесс называют рекристаллизацией стали.

Температурные интервалы горячей обработки давлением приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Интервалы ковки и горячей штамповки низколегированных сталей

Марка стали	Температура начала ковки максимальная, °С	Температура конца ковки, °С		Рекомендуемый температурный интервал ковки, °С
		Не выше	Не ниже	
Ст. 0, 1, 2, 3	1300	800	700	1280–750
Ст. 4, 5, 6	1250	850	750	1250–800
Ст. 7	1200	850	750	1170–780
10, 15	1300	800	700	1280–750
20, 25, 30, 35	1280	830	720	1250–800
40, 45, 50	1260	850	760	1200–800
55, 60	1240	850	760	1190–800
65, 70	1220	850	770	1180–800
15Г, 20Г, 25Г	1250	850	750	1230–800
40Г, 45Г, 50Г	1220	850	760	1200–800
60Г, 65Г	1200	850	760	1180–800
15Х, 20Х	1250	870	760	1280–800
30Х, 38ХА	1230	870	780	1180–820
40Х, 45Х, 50Х	1200	870	800	1180–830
40Г2, 50Г2	1200	870	800	1180–830
38ХМЮА	1180	950	830	1160–880
ШХ15	1180	870	830	1130–850
ШХ15СГ	1180	900	800	1150–850

Температурные интервалы ковки и штамповки высоколегированных сталей уже, что связано с уменьшением пластичности таких материалов.

Таблица 8 – Температурные интервалы ковки и штамповки некоторых высоколегированных сталей

Марка стали	Температура начала ковки максимальная, °С	Температура конца ковки, °С		Рекомендуемый температурный интервал ковки, °С
		Не выше	Не ниже	
X5M	1200	900	850	1180–850
X18H9T	1180	950	870	1150–900
X28	1150	700	–	1260–680
X23H18	1180	850	800	1150–820
20Х13	1180	950	850	1150–900
40Х13	1200	–	800	1180–820

В реальных производственных условиях выполненные расчеты и чертежи оформляются в виде технологической документации и поступают в цеха и на участки для организации выпуска заготовок.

Пример расчета кованой заготовки ступенчатого вала приведен в приложении Б.

Варианты индивидуальных заданий по свободной ковке приведены в приложении Г.

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

## РАЗРАБОТКА ЧЕРТЕЖА ЗАГОТОВКИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЕЁ ПОЛУЧЕНИЯ ШТАМПОВКОЙ НА МОЛОТЕ

### 1 Цель работы

- 1.1 Изучение и освоение методики расчета и конструирования чертежа штампованной заготовки.
- 1.2 Разработка технологического процесса получения заготовки объемной штамповкой на молоте.
- 1.3 Ознакомление с основами проектирования штамповой оснастки.

### 2 Порядок выполнения работы

- 2.1 Получить эскиз детали.
- 2.2 Изучить последовательность выполнения работы, составленную в соответствии и с требованиями ГОСТ 7505–89 [1].
- 2.3 Выполнить работу в соответствии со следующей последовательностью:
  - 2.3.1 На основании эскиза детали разработать её рабочий чертеж с указанием марки стали, размеров, шероховатости обработанных поверхностей, технических требований.
  - 2.3.2 Оценить технологичность детали и при необходимости упростить её конструкцию. Определить положение плоскости разъема штампованной заготовки в зависимости от выбранного вида штамповки (открытой или закрытой).
  - 2.3.3 Определить основные характеристики штампованной заготовки – группу стали, точность изготовления, степень сложности, расчетную массу и найти исходный индекс штампованной заготовки.
  - 2.3.4 Найти припуски на механическую обработку детали, обозначить припуски на чертеже детали. Припуски назначаются на обрабатываемые поверхности поковки.
  - 2.3.5 Назначить технологические (кузнецкие) напуски, к которым относят штамповочные уклоны и радиусы скруглений в местах сопряжений поверхностей, найти толщину перемычки, а также диаметр отверстия, пробиваемого в ней.
  - 2.3.6 Рассчитать размеры штампованной заготовки с учетом припусков и напусков и определить допуски на размеры. Допуски назначаются на все номинальные размеры поковки.
  - 2.3.7 Разработать чертеж штампованной заготовки, указав размеры с допусками, и составить технические требования, предъявляемые к ней.
  - 2.3.8 Разработать технологический процесс штамповки, определить конструктивную схему штампа, выполнить эскиз штампового кубика. Выбрать вид исходной заготовки и рассчитать её размеры. Установить температурный интервал штамповки.

### 3 Выполнение работы

3.1 Рабочий чертеж детали выполняется с учетом требований ЕСКД, предъявляемых к выполнению работ данного вида.

Графический документ на штампованную заготовку разрабатывают на основании чертежа детали в соответствии с ГОСТ 7505–89 [5] (пример оформления приведен в приложении В). При этом линейные размеры на чертеже заготовки должны быть проставлены от указанных исходных баз механической обработки, согласованных между изготовителем и потребителем, как показано на рисунке 8.

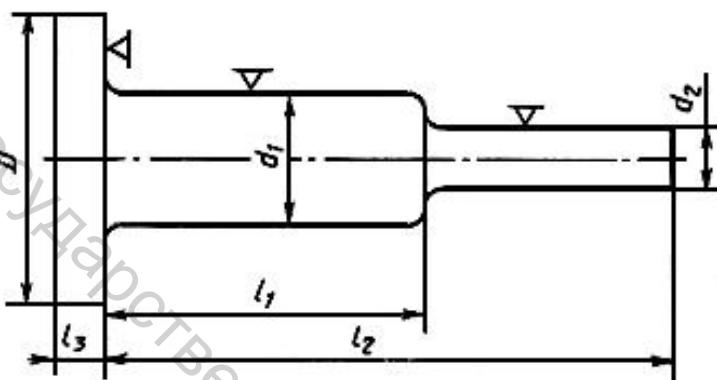


Рисунок 8 – Правила простановки размеров на чертеже штампованной заготовки

3.2 Оценка технологичности детали и выбор линии разъема штампованной заготовки.

Под технологичностью детали следует понимать такую конструкцию детали, которая обеспечивает наиболее простое ее изготовление при обеспечении высоких эксплуатационных свойств. Применительно к штампованной заготовке технологичность детали может быть обеспечена следующими способами:

- изменением конструкции детали или ее элементов без потери качества;
- штамповкой двух или более деталей в одной поковке;
- разбивкой сложных трудно штампемых деталей на две или несколько частей, которые штампуются отдельно, а затем свариваются;
- комбинированной штамповкой на разных типах кузнецких машин;
- получением заготовки детали из периодического проката и его последующей механической обработкой.

На первом этапе удаляются мелкие невыполнимые элементы детали – фаски, отверстия малого диаметра и т. п., а также назначаются напуски на поднутрения. Поднутрения – невыполнимые штамповкой элементы на детали – шлицы, зубья, проточки, отверстия и полости, перпендикулярные оси штампованной заготовки. Выполнимость этих элементов определяется типом штамповочного оборудования.

Выбор линии разъема у открытых штампов необходим для вкладывания заготовки в ручей, извлечения из него поковки и размещения в плоскости разъема канавки для заусенца (облоя).

Линия разъема штампов – контур проекции поверхности разъема на перпендикулярную к ней плоскость.

Выбор линии разъема определяется из условий технологичности поковки с учетом следующих факторов:

- сложности исходной заготовки;
- возможности извлечения поковки из штампа;
- легкого контроля сдвига одной части штампа относительно другой;
- получения минимального веса штампованной заготовки, что предполагает назначение минимально возможных припусков и напусков;
- условия заполнения полости штампа, поскольку заполнение штампов металлом происходит лучше при осадке, чем при выдавливании;
- уменьшения объема напусков, при этом для уменьшения объема напусков на уклоны линия разъема устанавливается на 1/2 высоты поковки;
- минимальной стоимости изготовления штампов;
- способа укладки поковок в обрезной штамп для обрезки облоя и прошивки отверстия в перемычке;
- условий работы детали (для получения заданной макроструктуры материала).

Для деталей типа тел вращения (шкивов, зубчатых колес, дисков и т. п.) наиболее целесообразно использовать способы осадки в торец, для деталей удлиненной формы применяют продольную штамповку.

Линию разъема на чертеже детали показывают штрихпунктирной линией. За пределами детали эта линия оканчивается линией, толщина которой равна двойной толщине основной линии чертежа и значком «Х».

Контуры готовой детали на чертеже поковки следует вычерчивать штрихпунктирной или сплошной тонкой линией, наглядно показывающей наличие припусков и напусков. Размеры готовой детали допускается проставлять в скобках под размерами поковки.

На чертеже можно не указывать размеры для построения линии разъема, припусков и напусков, а также рекомендуется избегать простановки размеров от линии разъема, если она не совпадает с осевой. Необходимо указать установочные базы для обработки резанием и от них проставить размеры с допусками. Размерные линии для нанесения размеров поверхностей с уклонами проводят от вершин уклонов. Размеры поковки проставляют с учетом:

- удобной проверки размеров и формы поковки шаблонами;
- простоты разметки поковки при контроле;
- удобной проверки припуска на чертеже.

В технических требованиях к чертежу указывают: наименование (номер) поковки, степень ее сложности, марку и группу стали, точность изготовления, вид нагрева, а также штамповочные уклоны и радиусы закруглений, не указанные на чертеже.

В технических требованиях необходимо указать также: группу по видам испытаний, категорию прочности, вид термообработки, способ очистки поверхности, допускаемую величину остатков облоя после обрезки, а также глубину внешних дефектов и дефекты формы (сдвиг, отклонение от соосности отверстий и сечений, кривизну, коробление и т. п.). По требованию потребителя в технические требования могут быть включены указания мест маркировки, отпечатка при испытании твердости, вырезки образца для механических испытаний и другие особые условия.

При этом рекомендуется:

- место маркировки назначать на поверхности, не контактирующие с обрезным пуансоном и не обрабатываемые резанием;
- место отпечатка твердости указывать на плоской поверхности, удобной для зачистки, с учетом удобной укладки поковки на прессе при определении твердости.

3.3 Определение основных характеристик штампованной заготовки. Штампованные заготовки в зависимости от их назначения характеризуются следующими показателями: точностью изготовления, группой стали, из которой будет изготовлена штампованная заготовка, степенью сложности поковки, конфигурацией плоскости разъема штампа, шероховатостью обрабатываемых поверхностей, массой.

Класс точности поковки устанавливается в зависимости от технологического процесса и оборудования для её изготовления, а также исходя из предъявляемых требований к точности размеров поковки.

Допускаются различные классы точности для разных размеров одной и той же поковки. При этом класс точности определяется по преобладающему числу размеров одного класса точности, предусмотренному чертежом поковки, и согласовывается между изготовителем и потребителем.

При выборе класса точности используют данные, приведенные в таблице 9.

Таблица 9 – Классы точности штампованных заготовок

Основное деформирующее оборудование, технологические процессы	Класс точности				
	T1	T2	T3	T4	T5
Кривошипные горячештамповочные прессы:					
открытая (облойная) штамповка				+	+
закрытая штамповка		+	+		
выдавливание			+	+	
горизонтально-ковочные машины				+	+
Прессы винтовые, гидравлические				+	+
Горячештамповочные автоматы		+	+		
Штамповочные молоты				+	+
Калибровка объемная (горячая и холодная)	+	+			
Прецизионная штамповка	+				

Группа стали характеризуется массовой долей углерода и суммарной массовой долей легирующих элементов, входящих в состав данной марки стали.

В настоящее время существует **три группы стали**:

М1 – сталь с массовой долей углерода до 0,35 % включительно и суммарной массовой долей легирующих элементов до 2,0 % включительно;

М2 – сталь с массовой долей углерода выше 0,35 до 0,65 % включительно или суммарной массовой долей легирующих элементов выше 2,0 до 5,0 % включительно;

М3 – сталь с массовой долей углерода выше 0,65 % или суммарной массовой долей легирующих элементов выше 5,0 %.

При назначении группы стали определяющим является среднее массовое содержание углерода и легирующих элементов (*Si, Mn, Cr, Ni, Mo, W, V*).

Степень сложности ( $C_i$ ) является одной из конструктивных характеристик формы поковок, качественно оценивающей её.

Степень сложности устанавливается путем вычисления отношения массы (объема)  $G_{\Pi}$  поковки к массе (объему)  $G_{\Phi}$  геометрической фигуры, в которую вписывается форма поковки. Геометрическая фигура может быть шаром, параллелепипедом, цилиндром с перпендикулярными к его оси торцами или прямой правильной призмой, показанными на рисунке 9.

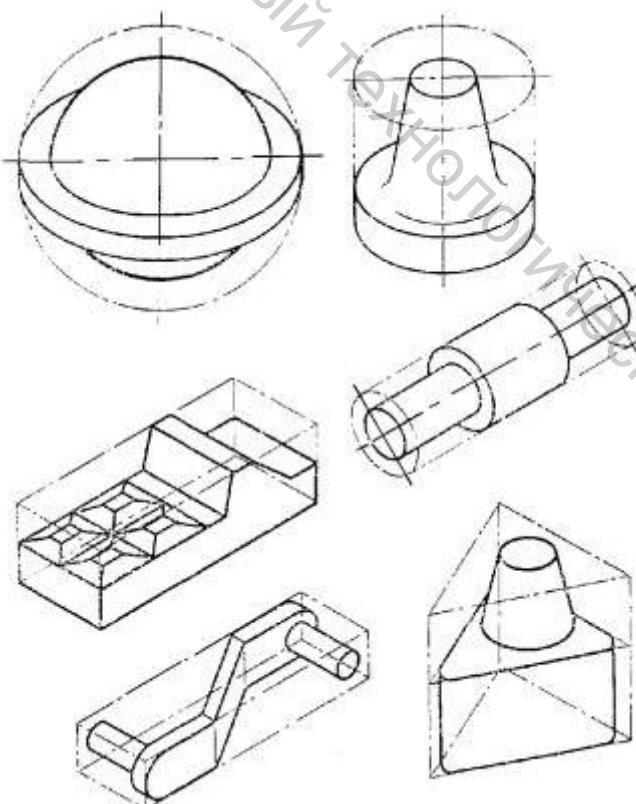


Рисунок 9 – К расчету степени сложности поковки

При вычислении отношения  $G_{\Pi}/G_{\Phi}$ , принимают ту из геометрических фигур, масса (объем) которой наименьший.

При определении размеров описывающей поковку геометрической фигуры допускается исходить из увеличения в 1,05 раза габаритных линейных размеров детали, определяющих положение ее обработанных поверхностей.

Рассчитанным степеням сложности поковок соответствуют следующие численные значения отношения  $G_{\Pi}/G_{\Phi}$ :

С1 – св. 0,63;

С2 – св. 0,32 до 0,63 включительно;

С3 – св. 0,16 до 0,32 включительно;

С4 – св. 0,16.

Степень сложности С4 устанавливается для поковок с тонкими элементами, например, в виде диска, фланца, кольца (рисунок 10), в том числе с пробиваемыми перемычками, а также для поковок: тонким стержневым элементом, если отношения  $t/D$ ;  $t/L$ ;  $t/(D-d)$  не превышают 0,20 и  $t$  не более 25 мм (где  $D$  – наибольший размер тонкого элемента,  $t$  – толщина тонкого элемента,  $L$  – длина тонкого элемента,  $d$  – диаметр элемента поковки, толщина которого превышает величину  $t$ ).

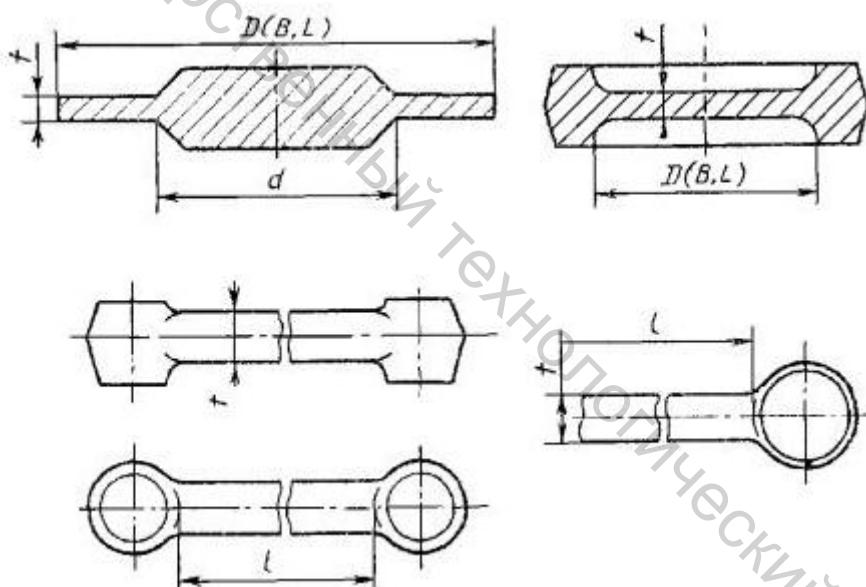


Рисунок 10 – Примеры поковок 4 степени сложности

Для поковок, полученных на горизонтально-ковочных машинах, допускается определять степень сложности формы в зависимости от числа переходов:

С1 – не более чем при двух переходах;

С2 – при трех переходах;

С3 – при четырех переходах;

С4 – более чем при четырех переходах или при изготовлении на двух ковочных машинах.

Конфигурация поверхности разъема штампа может быть *П* – плоская, *Ис* – симметрично изогнутая; *Ин* – несимметрично изогнутая.

Расчетная масса поковки определяется как масса подвергаемых деформации поковки (поковок) или ее частей. В массу поковки не входят масса облоя и перемычки пробитого отверстия.

При высадке поковок на горизонтально-ковочных машинах или местной штамповке на молотах и прессах масса поковки включает массу части стержня, зажатого штампами.

Расчетная масса поковки определяется исходя из ее номинальных размеров, полученных в результате проектирования поковки.

Ориентировочную величину расчетной массы поковки ( $M_{\text{п.р}}$ ) допускается вычислять по формуле

$$M_{\text{п.р}} = M_{\text{д}} \cdot K_{\text{р}}, \quad (13)$$

где  $M_{\text{п.р}}$  – расчетная масса поковки, кг;  $M_{\text{д}}$  – масса детали, кг;  $K_{\text{р}}$  – расчетный коэффициент, устанавливаемый в соответствии с таблицей 10.

Таблица 10 – Коэффициент ( $K_{\text{р}}$ ) для определения ориентировочной расчетной массы поковки

Группа	Характеристика детали	Типовые представители	$K_{\text{р}}$
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
2.2	Квадратные, прямоугольные, многогранные	Фланцы, ступицы, гайки	1,3 - 1,7
2.3	С отростками	Крестовины, вилки	1,4 - 1,6
3	Комбинированной (сочетающей элементы групп 1 и 2-й) конфигурации	Кулаки поворотные, коленчатые валы	1,3 - 1,8
4	С большим объемом необрабатываемых поверхностей	Балки передних осей, рычаги переключения коробок передач	1,1 - 1,3
5	С отверстиями, углублениями, поднурениями, не оформленными в поковке при штамповке	Полые валы, фланцы, блоки шестерен	1,8 - 2,2

### 3.4 Определение припусков на механическую обработку.

Припуск – слой металла на обрабатываемых частях поверхности поковки, удаляемый при её механической обработке. Величина припуска на механическую обработку определяется, в общем случае, рядом факторов: изменением размеров при термической обработке, окалинообразованием, величиной удаляемого слоя при механической обработке, неточностью установки инструмента при механической обработке, износом и др. факторами.

Припуск на механическую обработку включает основной, а также дополнительные припуски, учитывающие отклонения формы поковки. Величины припусков следует назначать на одну сторону номинального размера поковки.

Основные припуски на механическую обработку поковок определяют в зависимости от исходного индекса, линейных размеров и шероховатости поверхности детали.

Припуски на толщину поковки, подвергаемой холодной или горячей калибровке, устанавливаются согласно приложению 4 [5].

Исходный индекс используют также при назначении не только основных припусков, но и величины допусков и допускаемых отклонений.

Исходный индекс определяется в зависимости от расчетной массы поковки, марки стали, степени сложности и класса точности поковки. Для определения исходного индекса используют диаграмму, приведенную на рисунке 11.

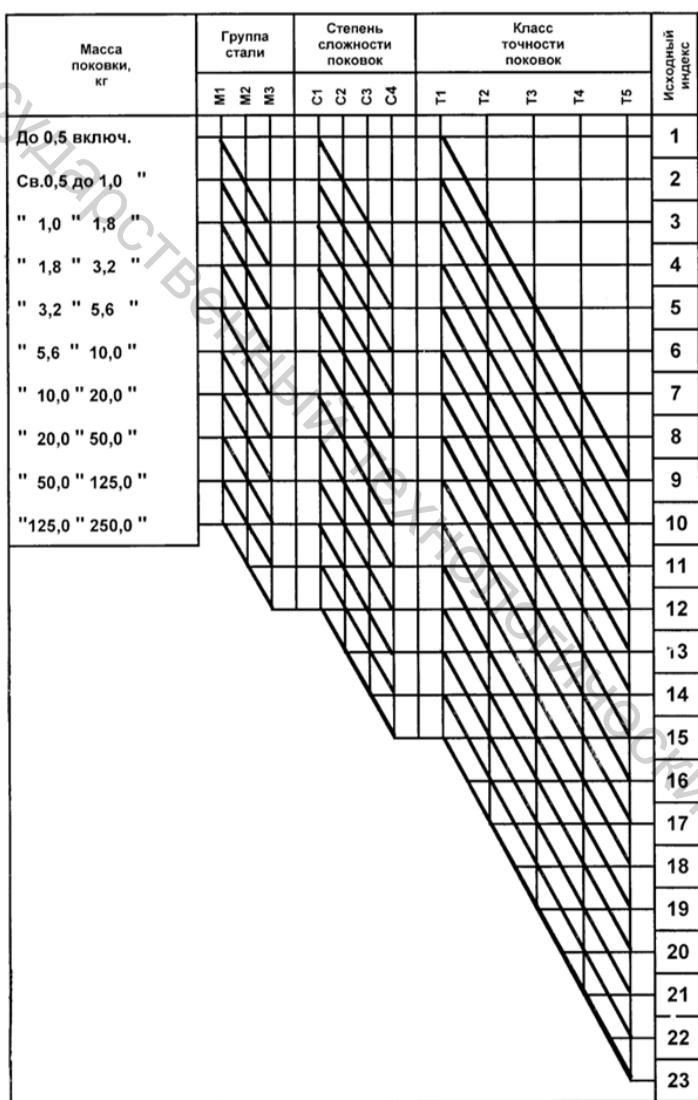


Рисунок 11 – Определение исходного индекса

Для определения исходного индекса в графике «Масса поковки» находят соответствующую данной массе строку и, смещаясь по горизонтали вправо или по утолщенным наклонным линиям вправо вниз до пересечения с вертикальными линиями, соответствующими заданным значениям группы

стали М, степени сложности С, класса точности Т, устанавливают исходный индекс от 1 до 23.

Примеры определения исходного индекса для различных поковок показаны на рисунке 12:

– поковка массой 0,5 кг, группа стали М1, степень сложности С1, класс точности Т2.  
Исходный индекс – 3;

– 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.

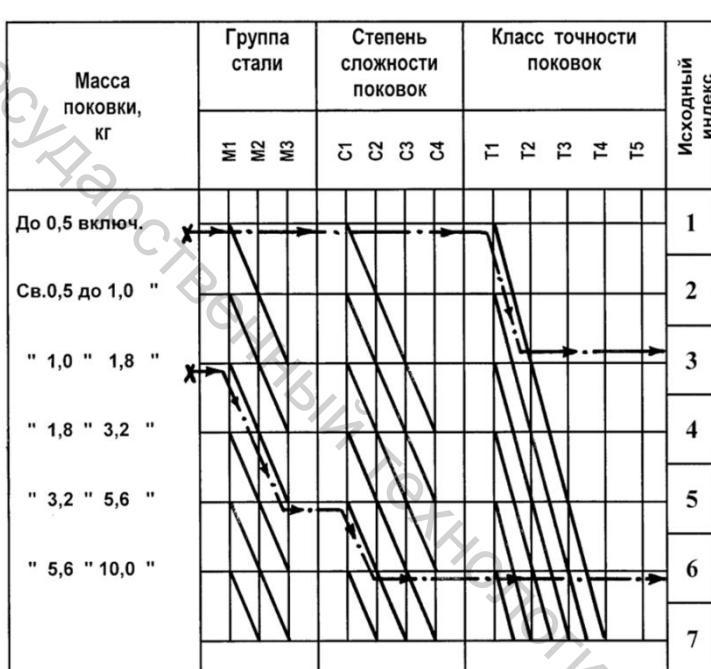


Рисунок 12 – Примеры определения исходного индекса

Полученное значение исходного индекса используют для назначения основных припусков, численные значения которых приведены в таблице 11. Дополнительные припуски, учитывающие смещение поковки, изогнутость, отклонения от плоскостности и прямолинейности, межцентрового и межосевого расстояний, угловых размеров, определяют исходя из формы поковки и технологии ее изготовления и устанавливают в зависимости от класса точности Т.

К дополнительным припускам относят: смещение по поверхности разъема штампов, величину которого определяют по таблице 12, изогнутость и отклонения от плоскостности и прямолинейности – по таблице 13, отклонения межосевого расстояния при наличии отверстий – по таблице 14. Величина дополнительного припуска, учитывающего отклонения угловых размеров, устанавливается по согласованию между изготовителем и потребителем. Разрешается округлять линейные размеры поковки с точностью до 0,5 мм.

Таблица 11 – Основные припуски на механическую обработку (на сторону, мм)

Исходный индекс	Длина, ширина, диаметр, глубина и высота детали												Толщина детали					
	До 25			25–40			40–63			63–100			100–160		400–630			
	До 40			40–100			100–160			160–250			250–400		630–1000			
100	10	1,25	100	10	1,25	100	10	1,25	100	10	1,25	100	10	1,25	100	10	1,25	
12,5	1,6	12,5	1,6	12,5	1,6	12,5	1,6	12,5	1,6	12,5	1,6	12,5	1,6	12,5	1,6	12,5	1,6	
	$\sqrt{R_d}$	$\sqrt{R_d}$	$\sqrt{R_d}$	$\sqrt{R_d}$	$\sqrt{R_d}$	$\sqrt{R_d}$	$\sqrt{R_d}$	$\sqrt{R_d}$	$\sqrt{R_d}$	$\sqrt{R_d}$	$\sqrt{R_d}$	$\sqrt{R_d}$	$\sqrt{R_d}$	$\sqrt{R_d}$	$\sqrt{R_d}$	$\sqrt{R_d}$	$\sqrt{R_d}$	
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	0,6	0,8	0,9	0,6	0,8	0,9
2	0,4	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,6	0,7	0,6	0,8	0,9	0,7	0,9	1,0	0,8	1,0	1,1	—
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	0,9	1,0	1,1	1,2	1,0	1,3
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	0,9	1,1	1,2	1,1	1,2	1,4
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	1,0	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8
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	1,1	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9
7	0,8	1,0	1,1	0,9	1,1	1,2	1,0	1,2	1,1	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	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	1,2	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
9	1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
10	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,7	1,8	1,4	1,7	1,5	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2
11	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,7	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	2,3	2,4	2,5
12	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,3	1,9	2,0	2,2	2,3	2,4	2,5
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	2,0	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7
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	2,2	2,7	3,0	3,3	3,5	3,8
15	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,0	2,4	3,0	2,6	3,2	3,5	3,8	3,0	3,4
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	2,6	3,5	3,8	3,0	3,4	3,7
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	2,8	3,0	3,3	3,6	3,8	4,1
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	3,0	3,8	4,1	3,4	4,7	5,1
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	3,4	4,3	4,7	5,1	5,6	6,2
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	3,7	4,7	5,1	5,6	6,8	7,5
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	4,1	5,1	5,7	6,2	6,8	7,4
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	4,5	5,7	6,2	6,8	7,5	8,1
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	4,9	6,8	7,5	8,1	8,2	8,7
																		10,0

Таблица 12 – Смещение по поверхности разъема штампов

Масса поковки, кг	Притупки для классов точности, мм				
	Плоская поверхность разъема (П)				
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
Симметрично изогнутая поверхность разъема (И <sub>С</sub> )					
До 0,5 включ.			T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>
Св. 0,5 до 1,0 »	0,1	0,1	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
» 1,0 до 1,8 »			0,1	0,2	0,2
» 1,8 до 3,2 »	0,2	0,2			
» 3,2 до 5,6 »			0,3	0,3	0,3
» 5,6 до 10,0 »				0,4	0,4
» 10,0 до 20,0 »				0,4	0,4
» 20,0 до 50,0 »	0,3	0,3		0,5	0,5
» 50,0 до 125,0 »			0,4	0,5	0,6
» 125,0 до 250,0 »	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7
				0,7	0,8
				0,9	1,0
				1,2	1,2
				1,2	1,6
				1,2	2,0

Таблица 13 – Притупки по изогнутости и отклонениям от плоскости и прямолинейности

Наибольший размер поковки (мм)	Притупки для классов точности (мм)				
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
До 100 включительно	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4
Св. 100 до 160 »	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5
» 160 » 250 »	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
» 250 » 400 »	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8
» 400 » 630 »	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0
» 630 » 1000 »	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2
» 1000 » 1600 »	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6
» 1600 » 2500 »	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0

Витебский государственный технический университет

Таблица 14 – Припуски по изогнутости и отклонениям от плоскости и прямолинейности

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

Таблица 15 – Минимальная величина радиусов закруглений наружных углов поковок в зависимости от глубины полости ручья штампа

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

### 3.5 Назначение кузнечных напусков.

Кузнечный напуск – дополнительный объем металла (слой) на обрабатываемых и необрабатываемых частях поверхности поковки, необходимый для осуществления операций формоизменения.

Кузнечные напуски образуют на поковке штамповочные уклоны, радиусы закруглений внутренних углов, непробиваемые перемычки в отверстиях и невыполнимые в штамповочных операциях поднутрения и полости. Кузнечные напуски назначают в целях увеличения стойкости штампов и облегчения заполнения ручьев.

На месте отверстий в поковке выполняют двухсторонние углубления, если диаметр сквозного отверстия не менее 30 мм, а толщина поковки в месте пробивки – не более диаметра пробиваемого отверстия. Поковки, имеющие сквозные отверстия, не могут быть получены в штампе с прошитым насквозь отверстием, поскольку соприкосновение частей штампа приводит к их скальванию. Поэтому делается наметка отверстия с оставлением пленки (перемычки), прошиваемой затем при обрезке заусенца. Впадины и углубления в поковке, когда их оси параллельны направлению движения одной из подвижных частей штампа, а диаметр или наименьший поперечный размер не менее 30 мм, выполняют глубиной до 0,8 их диаметра или наименьшего поперечного размера – при изготовлении на молотах и прессах и до трех диаметров – при изготовлении на горизонтально-ковочных машинах.

При конструировании поковок предусматривают наружные радиусы закруглений  $R$  (относящиеся к припускам) для предотвращения концентрации напряжений и образования разгарных трещин в углах гравюры ручья штампа, снижения усилий, необходимых для заполнения углов и обеспечения плавного изменения направления волокон. Минимальная величина радиусов закруглений наружных углов поковок в зависимости от глубины полости ручья штампа устанавливается по таблице 15.

Внутренние радиусы закруглений на штампованных заготовках соответствуют углам ручьев штампа, работающим в наиболее тяжелых условиях. Их обычно принимают равными  $(3\dots 4)R$ .

Внутренние радиусы закруглений в местах углублений под отверстия целесообразно назначать максимально допустимыми, для чего может быть использована следующая зависимость:

$$R_1 = R + 0,1h + (2 \dots 3), \quad (14)$$

где  $R$  – величина внутреннего радиуса закругления;  $h$  – глубина полости ручья штампа, на которой формируется закругление.

Штамповочные уклоны на поверхности, перпендикулярные плоскости разъема, не должны превышать величин, установленных в таблице 16. Для отдельных типов поковок, величины уклонов составляют: на поверхностях отверстий в поковках, изготовленных на горизонтально-ковочных машинах, штамповочный уклон не должен превышать  $3^\circ$ ; у изготовленных на

штамповочных молотах и прессах без выталкивателей поковок, имеющих элементы в виде ребра, выступа, реборды с отношением их высоты к ширине более 2,5, допускается штамповочный уклон до  $10^\circ$  на внешней поверхности и до  $12^\circ$  на внутренней поверхности.

Таблица 16 – Значения штамповочных уклонов на наружных и внутренних поверхностях поковок

Оборудование	Штамповочные уклоны, град.	
	на наружной поверхности	на внутренней поверхности
Штамповочные молоты, прессы без выталкивателей	7	10
Прессы с выталкивателями, горизонтально ковочные машины	5	7
Горячештамповочные автоматы	1	2

В поковке выполняют сквозные отверстия при двухстороннем углублении, если диаметр сквозного отверстия не менее 30 мм, а толщина поковки в месте пробивки – не более диаметра пробиваемого отверстия. Поковки, имеющие сквозные отверстия, не могут быть получены в штампе с прошитым насквозь отверстием. Поэтому делается наметка отверстия с оставлением перемычки (пленки), прошиваемой затем одновременно с обрезкой заусенца. В местах углублений под отверстия толщина перемычки  $S$  определяется в соответствии со следующей зависимостью:

$$S = 0,45\sqrt{D - 0,25h - 5} + 0,6\sqrt{h}, \quad (15)$$

где  $D$  – диаметр отверстия, пробиваемого в перемычке (рассчитывается с учетом припусков и напусков за счет уклонов);  $h$  – глубина полости ручья штампа, в которой формируется перемычка.

### 3.6 Назначение допусков и допускаемых отклонений

Допуски и допускаемые отклонения линейных размеров поковок назначают в зависимости от исходного индекса и размеров поковки по таблице 17. Допускаемые отклонения внутренних размеров поковок должны устанавливаться с обратными знаками.

### 3.7 Оформление чертежа штампованной заготовки

Правила оформления окончательного чертежа штампованной заготовки установлены ГОСТ 3.1126 [2]. На чертеже указывают размеры с допусками, базы обработки, составляют технические требования, предъявляемые к поковке. Допускаемые отклонения формы и расположения поверхностей должны быть проставлены на чертеже поковки в соответствии с требованиями ГОСТ 2.308 [6]. Допускаемые отклонения радиуса закругления и штамповочного уклона могут быть указаны в чертеже поковки по требованию заказчика. Технические требования к поковке устанавливают по ГОСТ 8479 [3]. Чертеж поковки рекомендуется составлять в масштабе 1:1. Исключения допускаются при вычерчивании поковок простой формы или поковок, размеры которых более 750 мм. Для крупных поковок, вычерчиваемых с уменьшением,

Таблица 17 – Допуски и допускаемые отклонения линейных размеров поковок (мм)

Исходный размер	Найбольшая толщина поковки, мм											
	до 40			40–63			63–100			100–160		
	160–250		250–400		400–630		630–1000		1000–1600		1600–2500	
Длина, ширина, диаметр, глубина и высота поковки, мм												
1	0,3	+0,2	0,4	+0,3	0,5	+0,3	0,6	+0,4	0,7	+0,5	-	-
2	0,4	+0,3	0,5	+0,2	0,5	+0,4	0,7	+0,2	0,8	+0,5	0,9	+0,6
3	0,5	+0,3	0,6	+0,4	0,7	+0,5	0,8	+0,5	0,9	+0,6	-0,3	-
4	0,6	+0,4	0,7	+0,5	0,8	+0,5	0,9	+0,5	1,0	+0,7	1,2	+0,8
5	0,7	+0,5	0,8	+0,5	0,9	+0,5	1,0	+0,7	1,2	+0,8	-0,4	-
6	0,8	+0,5	0,9	+0,6	1,0	+0,5	1,2	+0,7	1,4	+0,8	1,4	+0,9
7	0,9	+0,6	1,0	+0,7	1,2	+0,8	1,4	+0,8	1,6	+0,8	-0,5	-
8	1,0	+0,7	1,2	+0,8	1,4	+0,9	1,6	+0,7	1,8	+0,9	2,0	+1,3
9	1,2	+0,8	1,4	+0,9	1,6	+1,1	2,0	+1,3	2,4	+1,1	2,2	+1,4
10	1,4	+0,9	1,6	+1,1	2,0	+1,3	2,2	+1,4	2,5	+1,3	2,5	+1,6
11	1,6	+1,1	2,0	+1,3	2,2	+1,4	2,5	+1,6	2,8	+1,4	2,8	+1,8
12	2,0	+1,3	2,2	+1,4	2,5	+1,6	2,8	+1,8	3,2	+1,8	-0,9	-
13	2,2	+1,4	2,5	+1,6	2,8	+1,8	3,2	+2,1	3,6	+2,4	-1,3	-
14	2,5	+1,6	2,8	+1,8	3,2	+2,1	3,6	+2,4	4,0	+2,7	4,5	+3,0
15	2,8	+1,8	3,2	+2,1	3,6	+2,4	4,0	+2,7	4,5	+3,0	-1,3	-1,5
16	3,2	+2,1	3,6	+2,4	4,0	+2,8	4,5	+2,7	5,0	+3,3	5,0	+3,3
17	3,6	+2,4	4,0	+2,7	4,5	+3,0	5,0	+3,0	5,5	+3,3	5,6	+3,7
18	4,0	+2,7	4,5	+3,0	5,0	+3,3	5,5	+3,0	6,0	+3,3	6,3	+4,7
19	4,5	+3,0	5,0	+3,3	5,6	+3,7	6,3	+3,3	7,1	+4,2	7,1	+4,7
20	5,0	+3,3	5,6	+3,7	6,3	+4,2	7,1	+4,7	8,0	+5,3	8,0	+6,0
21	5,6	+3,7	6,3	+4,2	7,1	+4,7	8,0	+5,3	9,0	+6,0	11,0	+7,4
22	6,3	+4,2	7,1	+4,7	8,0	+5,3	9,0	+6,0	10,0	+6,7	12,0	+8,0
23	7,1	+4,7	8,0	+5,3	9,0	+6,0	10,0	+6,7	11,0	+7,4	13,0	+8,6

сложные сечения необходимо вычерчивать в натуральную величину. Поковки сложной формы с размерами менее 50 мм рекомендуется изображать в масштабе 2:1, при этом наиболее характерные проекции желательно повторить в масштабе 1:1.

Контуры готовой детали на чертеже поковки вычерчивают штрихпунктирной или сплошной тонкой линией, которые наглядно показывают наличие припусков и напусков. Размеры готовой детали допускается проставить в круглых скобках под размерами поковки.

На чертеже допускается не указывать размеры для построения линии разъема, припусков и напусков, а также рекомендуется избегать простановки размеров от линии разъема, если она не совпадает с осевой линией. На чертеже показывают установочные базы механической обработки в соответствии с ГОСТ 21495–76 [7], от которых проставляют размеры с допусками. Размерные линии для нанесения размеров поверхностей с уклонами проводят от вершин уклонов. Размеры поковки проставляют с учетом:

- удобной проверки шаблонами размеров и формы поковки;
- простоты разметки поковки при контроле размеров;
- удобной проверки припусков на чертеже.

В технических требованиях чертежа указывают степень сложности поковки, группу стали, точность изготовления, вид нагрева, а также штамповочные уклоны и радиусы закруглений, не указанные на чертеже.

Кроме этого, необходимо также указывать группу по видам испытаний, категорию прочности, вид термообработки, способ очистки поверхности, допускаемую величину остатков обоя после обрезки, а также глубину внешних дефектов и дефекты формы (сдвиг частей поковки в плоскости разъема, несоосность отверстий, кривизну, коробление и т. п.). По требованию потребителя в технические требования могут быть включены указания мест маркировки, отпечатка при испытании твердости, вырезки образца для механических испытаний и другие особые условия. Перечисленные данные студенты определяют самостоятельно.

При этом рекомендуется:

- место маркировки назначать на поверхности, не контактирующей с обрезным пуансоном и не обрабатываемой резанием;
- место отпечатка твердости указать на плоской поверхности, удобной для зачистки, с учетом удобной укладки поковки на пресс при определении твердости.

### 3.8 Разработка технологического процесса штамповки

Разработка технологии горячей объемной штамповки включает

- выбор вида исходной заготовки и определение её размеров;
- выбор переходов штамповки и определение конструктивной схемы штампа;
- определение температурного интервала штамповки.

При выборе вида и расчете размеров исходной заготовки учитывают способ штамповки (облойная или безоблойная). При штамповке с заусенцем часть материала исходной заготовки выдавливается в облойную (заусенечную) канавку.

В общем случае определяют объем металла, необходимый для изготовления заготовки:

$$V_{заг} = (V_{ш.з.} + V_{з.к.} + V_n)(100+k)/100, \quad (16)$$

где  $V_{ш.з.}$  – объем штампованной заготовки, рассчитанный по номинальным размерам;  $V_{з.к.}$  – объем заусенца;  $V_n$  – объем намётки под прошивку,  $k$  – угар металла в %, зависящий от способа нагрева металла под штамповку и количества нагревов (выносов).

При однократном нагреве  $k=2,5-3$  – при пламенном мазутном нагреве;  $k=1,0-1,5$  – при газовом нагреве;  $k=0,5-0,6$  – при электрическом нагреве.

Объем штампованной заготовки ( $V_{ш.з.}$ ) рассчитывают по номинальным размерам, указанным на рабочем чертеже поковки.

Объем заусенца связан с размерами заусенечной канавки у окончательного ручья. Размеры и форма заусенечной канавки зависят от размеров и конфигурации штампованной заготовки, а также от объема и формы заготовок, поступающих в ручей.

Облойная канавка создает сопротивление истечению металла из полости ручья, что способствует заполнению ручья металлом.

При штамповке заготовка сначала осаживается и часть металла вытекает в облойную канавку. По мере осаживания металл закрывает выход остальному металлу из полости ручья, способствуя его заполнению. Когда полость ручья полностью заполнена металлом, происходит штамповка поковки, при которой избыточный металл вытекает из полости ручья. Основное влияние на сопротивление истечению металла оказывает толщина и ширина облоя. В соответствии со своим назначением облойная канавка имеет два участка:

– мостик, который создает сопротивление истечению металла из полости ручья;

– магазин, служащий для размещения излишков металла. В магазине металл не должен деформироваться, чтобы не создавать дополнительное сопротивление истечению металла из полости ручья.

Применяется 4 вида облойных канавок (см. рисунок 13):

– тип 1 основная – обеспечивает большую стойкость мостика, так как верхняя половина штампа прогревается меньше, чем нижняя;

– тип 2 с увеличенным магазином – применяется для увеличения объема магазина при штамповке сложных поковок;

– тип 3 применяется, если необходимо резко повысить сопротивление течению металла на некоторых участках окончательного ручья, с тем чтобы обеспечить заполнение глубоких и сложных полостей штампа;

– тип 4 применяется для круглых в плане поковок, которые обычно штампуют с применением только окончательного ручья (так называемая малоотходная штамповка).

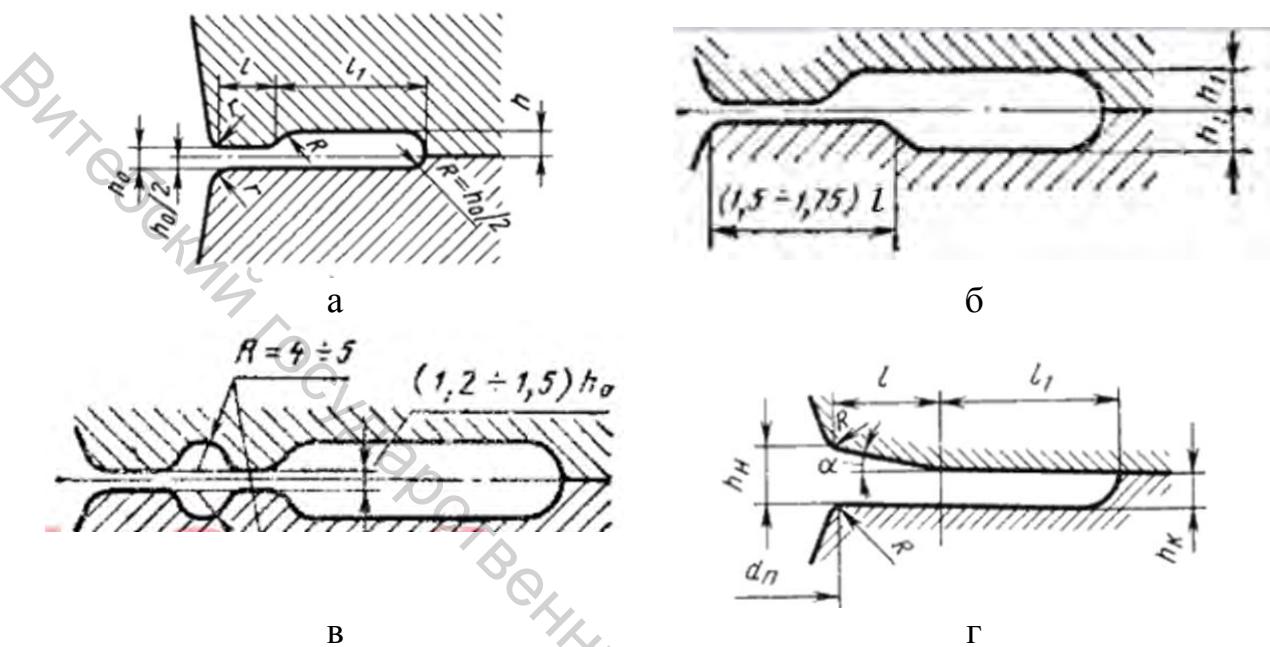


Рисунок 13 – Формы облойных канавок штампов

Объем заусенца определяют по формуле

$$V_{з.к.} = k \cdot P_{\pi} \cdot S_{з.к.}, \quad (17)$$

где  $k$  – коэффициент заполнения канавки металлом; для канавок типа а  $k=0,5-0,6$  – для круглых в плане заготовок;  $k=0,6-0,8$  – для прочих поковок;  $P_{\pi}$  – периметр штампованной заготовки по линии среза заусенца;  $S_{з.к.}$  – площадь поперечного сечения заусенечной канавки, определяемая в зависимости от высоты облоя  $h_o$ .

Высоту облойной канавки для круглых в плане заготовок определяют по формуле

$$h_o = 0,015 \cdot D, \quad (18)$$

где  $D$  – номинальный диаметр штампованной заготовки в плоскости разъема.

Для некруглых в плане заготовок в формулу (14) вместо  $D$  подставляют  $F_{\pi}$  – площадь проекции штампованной заготовки в плоскости разъема штампа.

Полученное значение  $h_o$  округляют до ближайшего большего значения, приведенного в таблице 18, и находят  $S_{з.к.}$  в  $\text{мм}^2$ . После этого определяют объем металла, выдавливаемого в облойную канавку.

Последующие расчеты зависят от формы штампованной заготовки, соотношения элементов её конструкции, вида заготовительных ручьев, применяемых при предварительном перераспределении объема металла заготовки по длине и сечениям.

Для штампованной заготовки, изготавляемой осадкой в торец, при определении диаметра исходной заготовки используют формулу

$$D_3 = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_{заг.}}{m}}, \quad (19)$$

где  $m$  – коэффициент, определяемый соотношением  $l/D$  ( $l$  – длина заготовки).  $m=1,5$  – для продольно штампемых заготовок,  $m=2,5$  – для осадки заготовок в торец.

Таблица 18 – Размеры заусенечных канавок, мм

Порядковый номер канавки	$h_o$	Высота магазина	Радиус $r$ при глубине ручья			$l$	$l_l$	$S_{з.к.}$
			<20	20–40	>40			
1	0,6	3	1	1,0	1,5	6	18	52
2	0,8	3	1	1,5	1,5	6	20	69
3	1,0	3	1	1,5	2,0	7	22	80
4	1,6	3,5	1	1,5	2,0	8	22	102
5	2,0	4	1,5	2,0	2,5	9	25	136
6	3,0	5	1,5	2,0	2,5	10	28	201
7	4,0	6	2	2,5	3,0	11	30	268
8	5,0	7	2	2,5	3,0	12	32	343
9	6,0	8	2,5	3,0	3,5	13	35	435
10	8,0	10	3	3,5	4,0	14	38	601

Полученное значение округляют до ближайшего большего значения сортамента проката по ГОСТ или применяемости для данного предприятия и находят длину штучной заготовки на одну поковку:

$$l_{заг.} = \frac{4 \cdot V_{заг.}}{\pi \cdot D_{заг.}^2}. \quad (20)$$

Если штампованная заготовка имеет удлиненную форму и, естественно, штампуется методом поперечной штамповки (ось заготовки перпендикулярна направлению движения и удара верхней половины штампа), расчет размеров заготовки значительно усложнен. В этом случае по чертежу штампованной заготовки строят эпюры диаметров и сечений по длине, и из соотношения элементов этих эпюр выбирают оптимальные размеры сечения заготовки (получают среднюю заготовку), а также переходы штамповки.

Существуют эмпирические зависимости для определения размеров исходных заготовок для штампованных заготовок удлиненной формы.

При этом различают два вида таких заготовок:

– штампованные заготовки, площади сечения которых по длине мало различаются, и, следовательно, не требуют применения заготовительных ручьев, для которых

$$F_{\text{заг.}} = (1,05 \div 1,3) \frac{V_{\text{заг.}}}{l_{\text{заг.}}}; \quad (21)$$

– штампованные заготовки, площади поперечного сечения которых по длине резко различаются, и требуют применения заготовительных ручьев, для которых

$$F_{\text{заг.}} = (0,7 \div 1,0) \cdot F_{\text{макс.}}, \quad (22)$$

где  $F_{\text{макс.}}$  – максимальная площадь поперечного сечения штампованной заготовки, включая облой.

Выбор переходов штамповки зависит от формы и размеров штампованной заготовки и распределения её объема по элементам фигуры. Чистовой ручей требуется всегда, заготовительные ручьи необходимы, когда требуется значительное перемещение металла заготовки по сечениям и имеются труднозаполнимые полости. Различают фомовочный, гибочный, пережимной, подкатной, протяжной ручьи, площадку для осадки. Назначение каждого из них определяется формой исходной заготовки и формой промежуточной заготовки. При определении последовательности переходов штамповки заготовки сложной формы необходимо учитывать четыре параметра: отношение поперечных размеров заготовки до и после выполнения перехода, отношение поперечных размеров к длине заготовки, массу заготовки, конусность расчетной заготовки, используемой при изготовлении поковок переменного поперечного сечения. Для определения перечисленных параметров строят эпюры сечений и диаметров, т. е. так называемую расчетную заготовку. Затем по номограммам выбирают последовательность заготовительных ручьев.

Конструкция штампа определяется конструктором штамповой оснастки, который выбирает габариты штампового кубика, исходя из следующих технологических данных: количества ручьев, габаритов каждого ручья, технологической последовательности штамповки. Самый оптимальный вариант штампа заключается в совпадении центра тяжести окончательного ручья с центром штампа.

Способ закрепления штампа на молоте показан на рисунке 14 [8]. Требования стандарта распространяются на ковочные и штамповочные молоты для производства поковок и выполнения различных операций свободной ковкой.

Форма и размеры пазов бабы и подушки показаны на рисунке 15 (а, б) и приведены в таблице 19. Форма и размеры элементов крепления верхнего (а) и

нижнего штампов (б) (бойков) показаны на рисунке 16 (а, б) и приведены в таблице 20. Кроме приведенных элементов в ГОСТ [8] приведены форма и размеры клиньев и продкладки. При использовании штампов на пневматических молотах необходимо учесть соответствующие присоединительные размеры элементов бабы и подушки этого оборудования и скорректировать размеры хвостовиков штампов.

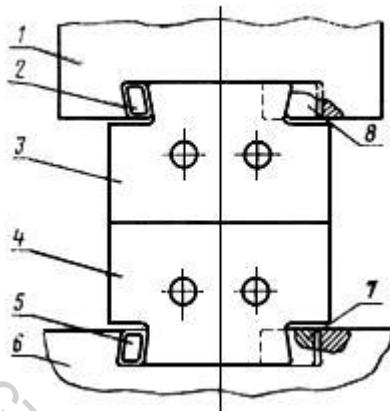


Рисунок 14 – Схема крепления штампов и бойков в бабе и подушке: 1 – баба; 2 – верхний клин; 3 – верхний штамп (боек); 4 – нижний штамп (боек); 5 – нижний клин; 6 – подушка (штамподержатель); 7 – шпонка; 8 – прокладка

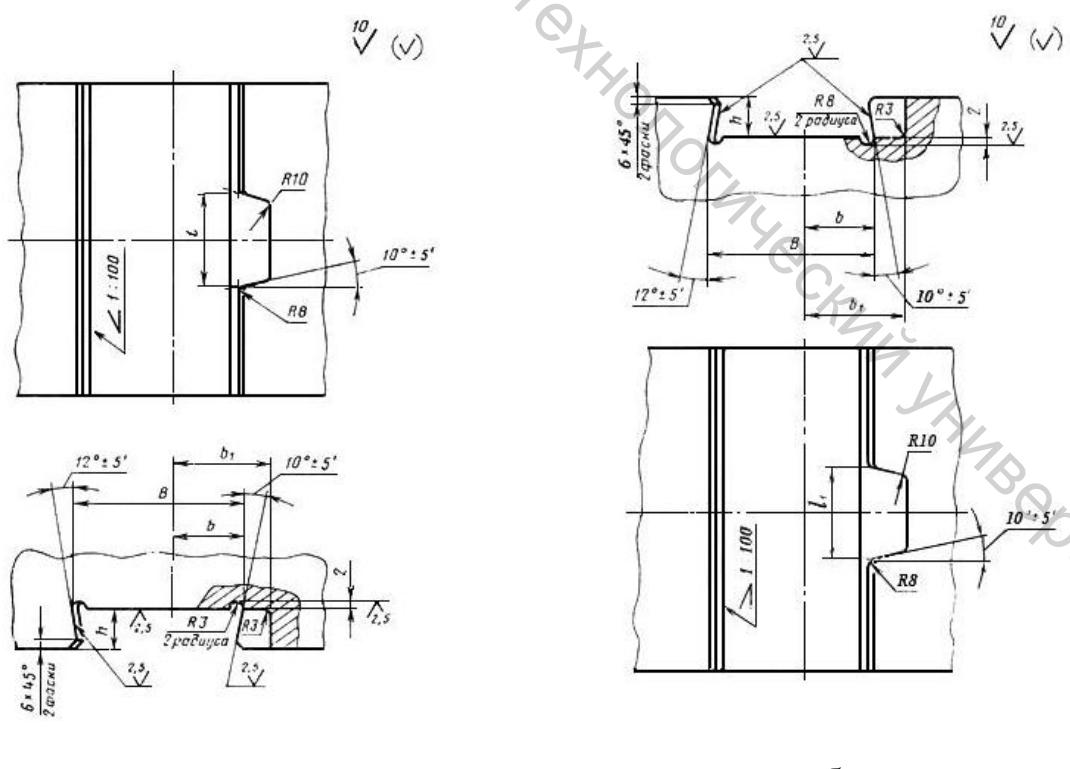


Рисунок 15 – Форма пазов бабы (а) и подушки (б)

Таблица 19 – Размеры пазов бабы и подушки молотов

Номинальная масса падающих частей молота, кН	<i>B</i> (поле допуска H11)	<i>b</i> (поле допуска H11)	<i>b<sub>I</sub></i>	<i>l</i> (поле допуска H12)	<i>l<sub>I</sub></i> (пред. откл. -0,1)	<i>h</i> (пред. откл. -0,5)
6,3	195	80	121	76	72	45
10,0 20,0	240	100	143	84	80	50
31,5 50,0	350	150	204	116	110	65
80,0 100,0 160,0	460	200	264	140	132	80
250,0	600	260	343	150	140	90

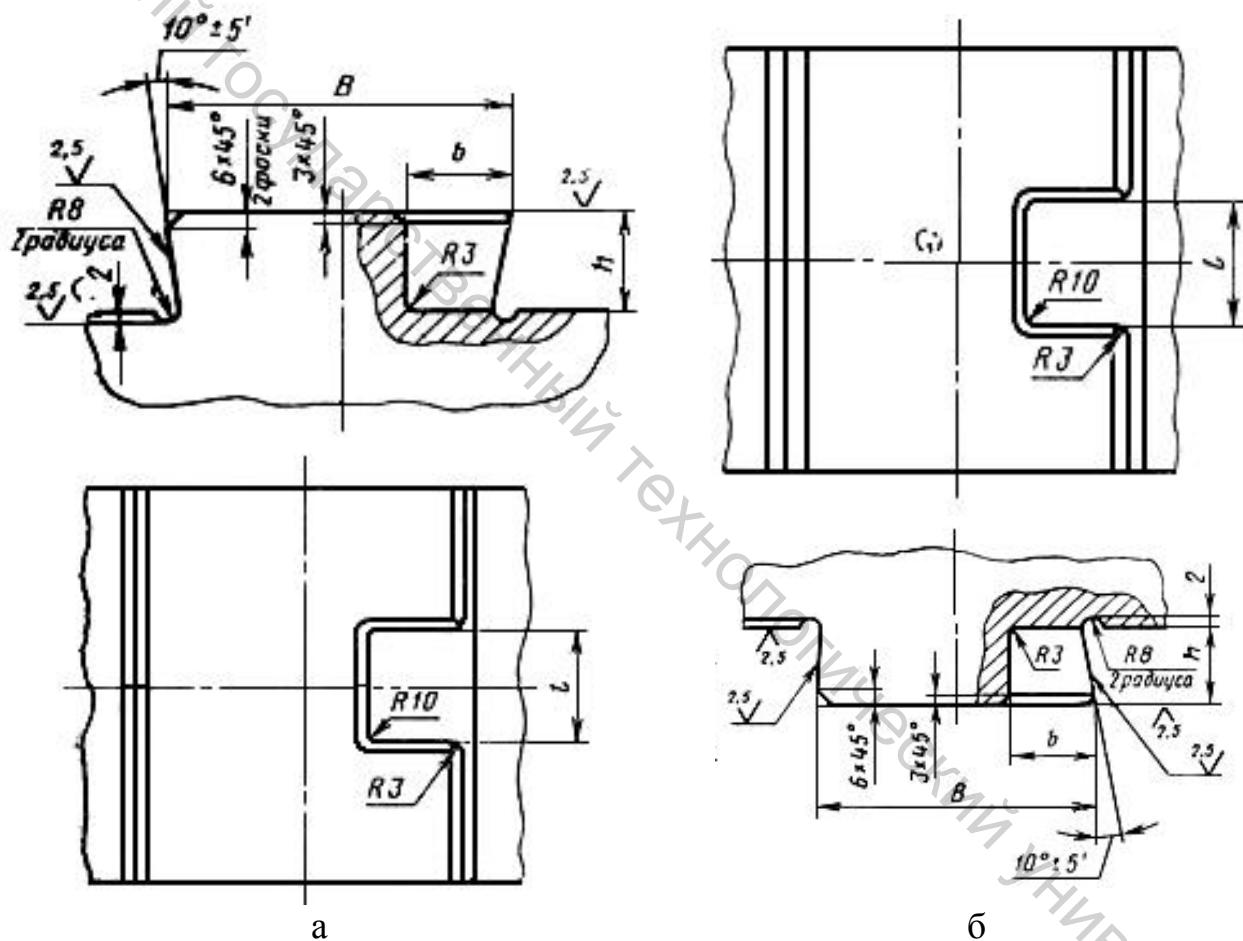


Рисунок 16 – Форма хвостовиков верхнего (а) и нижнего штампов (б) (бойков)

Таблица 20 – Размеры элементов крепления верхнего и нижнего штампов

Номинальная масса падающих частей молота, кН	<i>B</i> (поле допуска H11)	<i>b</i>	<i>h</i> (пред. откл. +0,5)	<i>l</i> (поле допуска +0,1)
6,3	160	56	48	45
10,0 20,0	200	60	53	50
31,5 50,0	300	75	68	75
80,0 100,0 160,0	400	90	84	100
250,0	520	100	95	110

Температурный интервал штамповки устанавливают аналогично температурному интервалу свободной ковки – по марке стали исходной заготовки (сортового проката или отливки). Для определения верхней и нижней границы температурного интервала штамповки могут быть использованы данные, приведенные в таблицах 7–8.

Пример расчета штампованной заготовки приведен в приложении В.

Варианты индивидуальных заданий по открытой штамповке заготовок приведены в приложении Г.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 ГОСТ 7829–70. Поковки из углеродистой и легированной стали, изготавляемые ковкой на молотах. Припуски и допуски. – Введен 01.01.71. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2004. – 26 с.
- 2 ГОСТ 3.1126–88. ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЧЕРТЕЖЕЙ ПОКОВОК. Введен 01.01.89. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1988. – 4 с.
- 3 ГОСТ 8479–70. ПОКОВКИ ИЗ КОНСТРУКЦИОННОЙ УГЛЕРОДИСТОЙ И ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ. ОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ. – Введен 01.01.71. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1970. – 9 с.
- 4 ГОСТ 2590–2006. МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ. ПРОКАТ СОРТОВОЙ СТАЛЬНОЙ ГОРЯЧЕКАТАНЫЙ КРУГЛЫЙ Сортамент. – Введен 01.07.2009. – Москва : СТАНДАРТИНФОРМ, 2009. – 10 с.
- 5 ГОСТ 7505–89. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски. – Введен 01.07.1990. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1989. – 36 с.
- 6 ГОСТ 2.308–2011 ЕСКД. Указания допусков формы и расположения поверхностей. – Введен 01.01.2012. – Москва : Стандартинформ, 2012. – 27 с.
- 7 ГОСТ 21495–76. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения. – Введен 01.07.1977. – Москва : Издательство стандартов, 1990 (с изменениями). – 36 с.
- 8 ГОСТ 6039–82. Молоты ковочные и штамповочные. Размеры элементов крепления штампов и бойков в бабе и подушке. – Введен 07.01.1983. – Москва : Издательство стандартов, 1982. – 16 с.

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**  
**Пример оформления карты эскизов**

Документ.			Форма 7		
Разраб.	Иванов	НПО "Манометр"	0212173.00009	1	1
Л.контр.	Сидоров	АБВГ.ХХХХХХ, ХХХ	-	2012173.00046	
			Крышка	14.15.08 -	015
КЭ					

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

НАЗНАЧЕНИЕ ПРИПУСКОВ И ДОПУСКОВ НА ПОКОВКИ ИЗ УГЛЕРОДИСТОЙ И ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ, ИЗГОТОВЛЯЕМЫЕ КОВКОЙ НА МОЛОТЕ

1 На рисунке Б.1 показан ступенчатый вал, заготовку которого необходимо изготовить в условиях мелкосерийного производства ковкой на паровоздушном молоте.

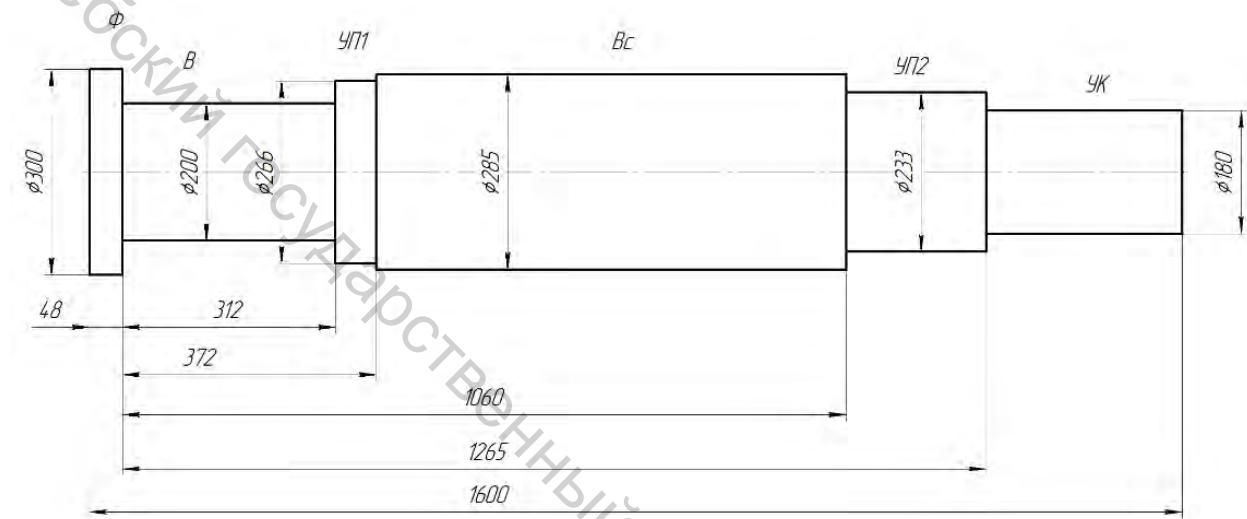


Рисунок Б.1 – Эскиз ступенчатого вала

Деталь состоит из фланца (Ф), выемки (В), уступа промежуточного (УП1), выступа (Вс), уступа промежуточного 2 (УП2), уступа концевого (УК). Материал детали – сталь 40Х.

2 Назначение основных припусков и предельных отклонений производим по таблице 1 с учетом схемы, изображенной на рисунке 1. Вначале назначаем припуски на диаметр каждой ступени:

- на Ø 300 мм припуск и предельное отклонение  $(16 \pm 5)$  мм;
- на Ø 200 мм припуск и предельное отклонение  $(14 \pm 4)$  мм;
- на Ø 266 мм припуск и предельное отклонение  $(16 \pm 5)$  мм;
- на Ø 285 мм припуск и предельное отклонение  $(16 \pm 5)$  мм;
- на Ø 233 мм припуск и предельное отклонение  $(15 \pm 4)$  мм;
- на Ø 180 мм припуск и предельное отклонение  $(14 \pm 4)$  мм.

Припуски и предельные отклонения на длину уступов, выступов, выемки и общую длину детали назначают в соответствии с принятой кратностью, при этом длину уступов, выемки и выступа указывают от единой базы (за базу принят торец выступа диаметром 300 мм на рисунке):

- на длину 48 мм припуск и предельное отклонение  $(32 \pm 10)$  мм;
- на длину 312 мм припуск и предельное отклонение  $(24 \pm 8)$  мм;
- на длину 376 мм припуск и предельное отклонение  $(24 \pm 8)$  мм;
- на длину 1060 мм припуск равен нулю, а предельное отклонение  $\pm 8$  мм;

на длину 1265 мм припуск равен нулю, а предельное отклонение  $\pm 8$  мм; на длину 1600 мм припуск и предельное отклонение  $(40 \pm 13)$  мм.

Поковка с назначенными на нее основными припусками и предельными отклонениями приведена на рисунке Б.2.

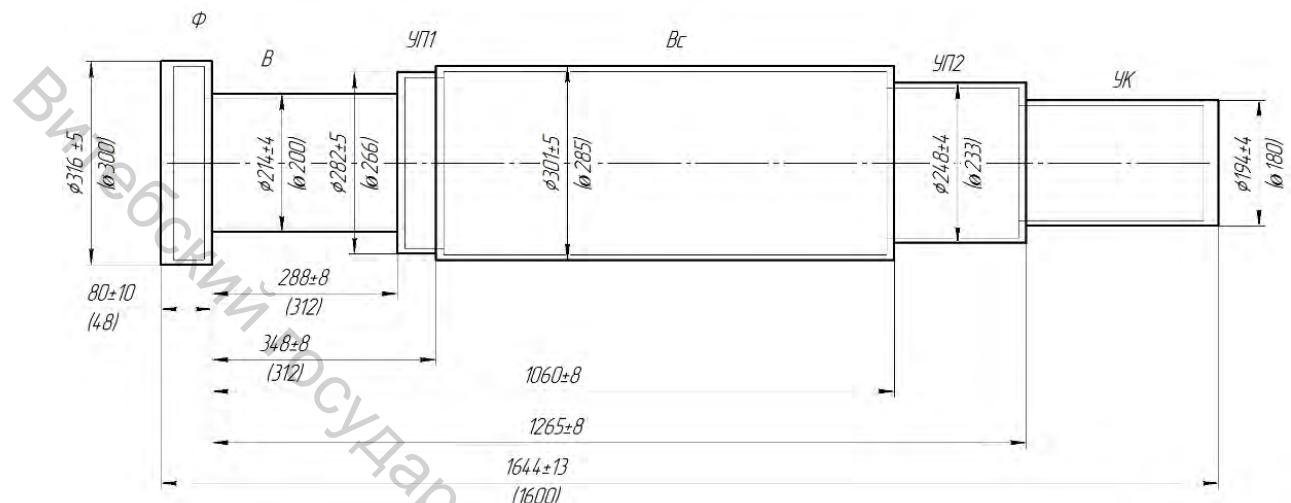


Рисунок Б.2 – Эскиз поковки с основными припусками и допускаемыми отклонениями

3 Дополнительные припуски на несоосность назначаем предварительно на все диаметры поковки, кроме наибольшего  $\phi 316$  мм.

Величину дополнительного припуска определяют по таблице 2:

на диаметр 214 мм дополнительный припуск 6 мм;

на диаметр 282 мм дополнительный припуск 3 мм;

на диаметр 301 мм дополнительный припуск 3 мм;

на диаметр 248 мм дополнительный припуск 4 мм;

на диаметр 194 мм дополнительный припуск 7 мм.

Определяем основное сечение, для чего рассчитываем площади продольных сечений ступеней, используя рисунок Б.2.

$$D'_{max} \cdot l' = 316 \cdot 80 = 2,53 \cdot 10^4 (\text{мм}^2);$$

$$D'_1 \cdot l'_1 = 214 \cdot 288 = 6,94 \cdot 10^4 (\text{мм}^2);$$

$$D'_2 \cdot l'_2 = 282 \cdot 288 = 1,69 \cdot 10^4 (\text{мм}^2);$$

$$D'_3 \cdot l'_3 = 301 \cdot 712 = 21,43 \cdot 10^4 (\text{мм}^2);$$

$$D'_4 \cdot l'_4 = 248 \cdot 205 = 5,08 \cdot 10^4 (\text{мм}^2);$$

$$D'_5 \cdot l'_5 = 194 \cdot 299 = 5,8 \cdot 10^4 (\text{мм}^2);$$

Для ступеней, площадь продольного сечения которых более площади продольного сечения ступени наибольшего диаметра  $D'_{max} \cdot l' = 316 \cdot 80 = 2,53 \cdot 10^4 (\text{мм}^2)$ , рассчитываем произведения  $A_i$ , учитывающего величину дополнительного припуска

для диаметра 214 мм  $A_1 = S_1 \cdot (D'_1 \cdot l'_1 - D'_{max} \cdot l') = 6(6,94 \cdot 10^4 - 2,53 \cdot 10^4) (\text{мм}^2) = 26,46 \cdot 10^4$ ;

для диаметра 304 мм  $A_3 = S_3 \cdot (D'_3 \cdot l'_3 - D'_{max} \cdot l') = 3(21,43 \cdot 10^4 - 2,53 \cdot 10^4) (\text{мм}^2) = 56,7 \cdot 10^4$ ;

для диаметра 248 мм  $A_4 = S_4 \cdot (D'_4 \cdot l'_4 - D'_{max} \cdot l') = 4(5,08 \cdot 10^4 - 2,53 \cdot 10^4) (\text{мм}^2) = 10,2 \cdot 10^4$ ;

для диаметра 194 мм  $A_5 = S_5 \cdot (D'_5 \cdot l'_5 - D'_{max} \cdot l') = 7(5,8 \cdot 10^4 - 2,53 \cdot 10^4) (\text{мм}^2) = 22,89 \cdot 10^4$ ;

За основное сечение принимаем ступень диаметром 304 мм, для которой произведение  $A_3$ , является наибольшим.

В связи с тем, что за основное сечение принят выступ не с наибольшим диаметром, назначаем на диаметр 316 мм дополнительный припуск 3 мм, перенося его с диаметра 304 мм.

Поковка с основными и дополнительными припусками показана на рисунке Б.3.

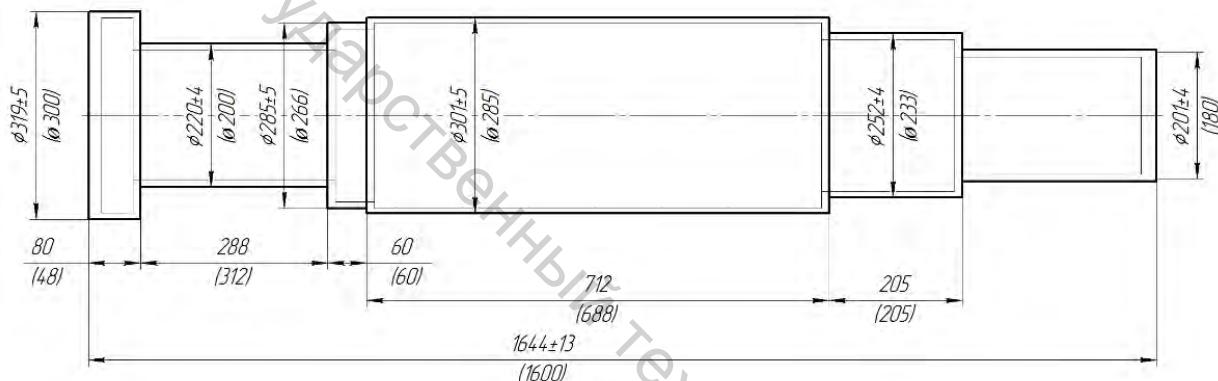


Рисунок Б.3 – Эскиз поковки с основными и дополнительными припусками и допускаемыми отклонениями

3 Проверка выполнимости концевых и промежуточных уступов, фланца и выемки.

Рассчитаем вес поковки, который составляет 716 кг. Используя диаграмму, изображенную на рисунке 3, принимаем, что поковка будет изготовлена на молоте с массой падающих частей 50 кН, для которого ширина бойка составит  $B_b=400$  мм.

Тогда:

а) промежуточный уступ УП1 диаметром 285 мм и длиной 60 мм невыполним, так как его длина менее величины  $l=0,5 \cdot B_b=200$  мм, регламентируемой таблицей 4. Доведение уступа до выполнимых размеров за счет напуска по длине нецелесообразно, так как при этом прилегающая к нему выемка будет невыполнимой.

Поэтому уступ ликвидируем за счет напуска по диаметру. Принимаем диаметр уступа равным диаметру соседнего выступа 301 мм;

б) промежуточный уступ УП2 диаметром 252 мм и длиной 205 мм выполним, так как высота уступа  $h'=0,5 \cdot (301-252)=24,5$  мм более минимальной

высоты 7 мм, регламентируемой таблицей 3, а его длина 205 мм более минимальной длины  $l=0,5 \cdot B_0=200$  мм, регламентируемой таблицей 4;

в) концевой уступ УК диаметром 201 мм и длиной 299 мм выполним, так как высота его  $h=0,5 \cdot (252-201)=25,5$  мм более минимальной высоты 6 мм, регламентируемой таблицей 3, а длина 299 мм более минимальной длины  $l=0,5 \cdot B_0=200$  мм, регламентируемой таблицей 4;

г) выемка В диаметром 220 мм и длиной 288 мм невыполнима, так как согласно таблице 6 минимальная длина засечки  $l''_2=0,7 \cdot B_0=0,7 \cdot 400=280$  мм, а минимальный диаметр выполнимой выемки длиной 312 мм при присекании её от диаметра  $D_3=301$  мм из условия постоянства объема ступени равен

$$D_{min} = D_3 \sqrt{\frac{l''_2}{l'_2}} = 301 \sqrt{\frac{280}{312}} = 279 \text{ мм,}$$

Доводим выемку до выполнимых размеров за счет напуска по диаметру, принимая диаметр выемки 279 мм;

д) фланец Ф диаметром 319 мм и длиной 80 мм при диаметре соседнего уступа 279 мм, выполним, так как его длина более минимальной величины  $319 \cdot 0,2 = 63,8$  мм.

Окончательные размеры поковки с назначенными на неё основными и дополнительными припусками после проверки выполнимости уступов, фланца и выемки приведены на рисунке Б.4. Скосы на торцах получены после удаления концевых отходов.

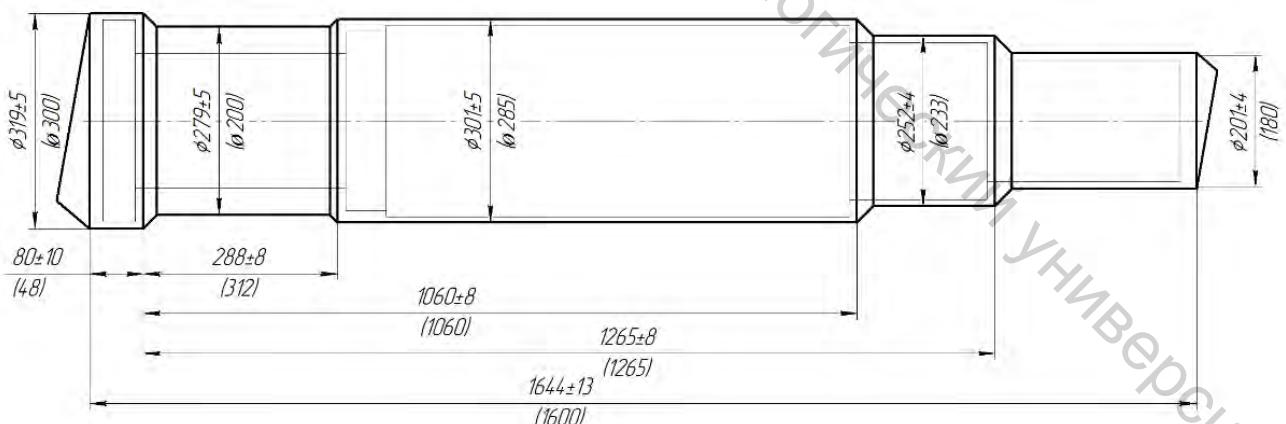


Рисунок Б.4 – Эскиз выполнимой поковки с основными и дополнительными припусками и допускаемыми отклонениями

#### 4 Определение массы и размеров исходной заготовки.

Для определения массы поковки необходимо определить массу отдельных её элементов, а также массу технологических отходов, к которым относят отходы на обрубку торцов и отходы на угар металла, связанный с

нагревом заготовки перед ковкой до высокой температуры. Рассчитываем объем каждого элемента поковки в форме цилиндра и суммируем значения.

$$\begin{aligned} V_{\Pi} &= V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 = \\ &= \frac{3,14}{4} (31,9^2 \cdot 8 + 27,9^2 \cdot 28,8 + 30,1^2 \cdot 77,2 + 25,2^2 \cdot 20,5 + 20,1^2 \cdot 29,9) = \\ &= 98597 \text{ см}^3. \end{aligned}$$

Определяем напуски на обрубку торцов, используя приведенные выше зависимости (см. формулы 3–6).

Длина напуска со стороны диаметра 319 мм

$$L = 0,36 \cdot D_{nok} + 15 = 0,36 \cdot 319 + 15 = 130 \text{ мм};$$

Длина напуска со стороны диаметра 201 мм

$$L = 0,36 \cdot D_{nok} + 15 = 0,36 \cdot 201 + 15 = 87 \text{ мм}.$$

Определим объем материала на обрабатываемых торцах

$$V_{\text{обр.}} = \frac{3,14}{4} (31,9^2 \cdot 13 + 20,1^2 \cdot 8,7) = 13143,9 \text{ см}^3.$$

Для определения угаря металла принимаем нагрев печи на газе, для которого коэффициент угаря  $k$  составляет 1,5 %. Тогда

$$V_{\text{заг.}} = (V_{\Pi} + V_{\text{обр.}}) \cdot \frac{100 + k}{100} = (98597 + 13144) \cdot 1,015 = 113417 \text{ см}^3.$$

Масса готовой детали составляет 558 кг, масса поковки – 774 кг, масса исходной заготовки – 890 кг.

Определим коэффициенты: выхода годного

$$K_{\text{вр.}} = \frac{774}{890} = 0,87;$$

коэффициент использования материала

$$K_{\text{им}} = \frac{558}{774} = 0,72.$$

Диаметр исходной заготовки можно определить, зная максимальный диаметр поковки и задавшись степенью уковки  $y=1,3$ .

$$D_{\text{заг.}} = \sqrt{319^2 \cdot 1,3} = 364 \text{ мм.}$$

Принимаем диаметр исходной заготовки  $D_{\text{заг.}}=365$  мм.

Длину заготовки определим, используя для расчета формулу объема заготовки:

$$V_{\text{заг.}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{заг.}}^2}{4} \cdot L_{\text{заг.}},$$

откуда

$$L_{\text{заг.}} = \frac{4 \cdot V_{\text{заг.}}}{\pi \cdot D_{\text{заг.}}^2} = \frac{4 \cdot 113417}{3,14 \cdot 36,5^2} \approx 1085 \text{ (мм)}.$$

Таким образом, заготовка представляет собой часть сортового проката диаметром 365 мм длиной 1085 мм. Для разработки переходов ковки определим соотношение  $L_{\text{заг.}}/D_{\text{заг.}}$ :

$$\frac{L_{заг}}{D_{заг}} = \frac{1090}{365} = 2,98.$$

## 5 Определение основных технологических переходов ковки.

Поскольку соотношение между длиной и диаметром заготовки превышает 2,5, в качестве первого перехода ковки рекомендуется выбрать протяжку заготовки до максимального диаметра фланца поковки 319 мм. Геометрические параметры заготовки после выполнения перехода определяют, исходя из закона постоянства объема. Каждый переход поясняют операционным эскизом.

1 переход. Протянуть заготовку до диаметра 319 мм. Получившаяся длина заготовки 1420 мм.

Расчет длины поясним следующими зависимостями:

$$V_{заг} = V_{ln},$$

где  $V_{ln}$  – объем заготовки после выполнения протяжки до диаметра поковки 319 мм.

$$113471 = 799 \cdot L_{ln},$$

где  $L_{ln}$  – длина поковки после выполнения первого перехода.

Из последней зависимости  $L_{ln}=1420$  мм.

Эскиз первого перехода показан на рисунке Б.5.

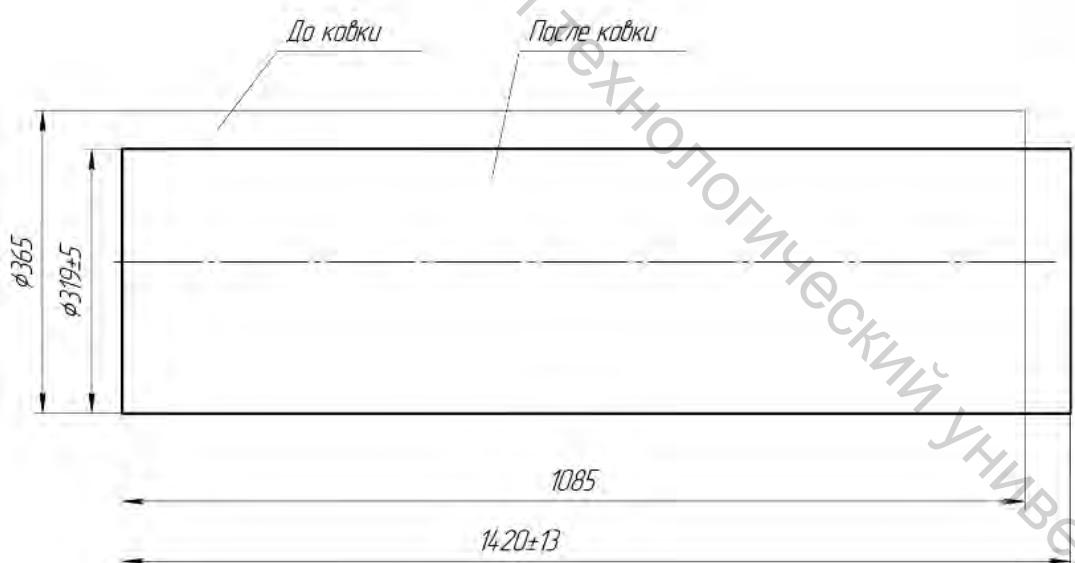


Рисунок Б.5 – Эскиз поковки после выполнения 1 перехода

2 переход. Отрубить отход слева  $L_{omx}=130$  мм. Эскиз обрубки отхода показан на рисунке Б.6.

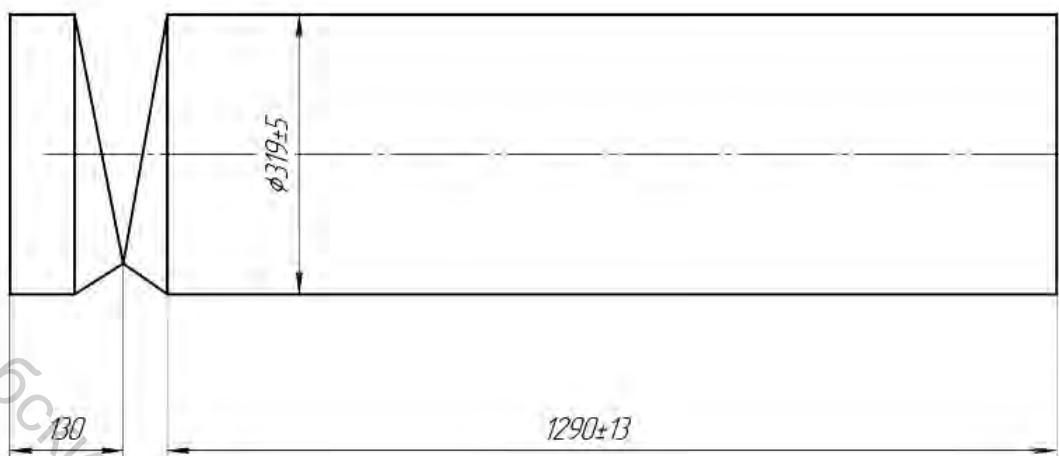


Рисунок Б.6 – Эскиз поковки после выполнения 2 перехода

3 переход. Выполнить засечку на длине  $80\pm10$  мм от левого торца. Протянуть заготовку от засечки до диаметра 301 мм. Длина протянутой части заготовки после ковки 1315 мм. Для расчета длины после ковки используем закон постоянства поковки до и после ковки (для проверки результата расчет выполнить самостоятельно).

Эскиз первого перехода показан на рисунке Б.7.

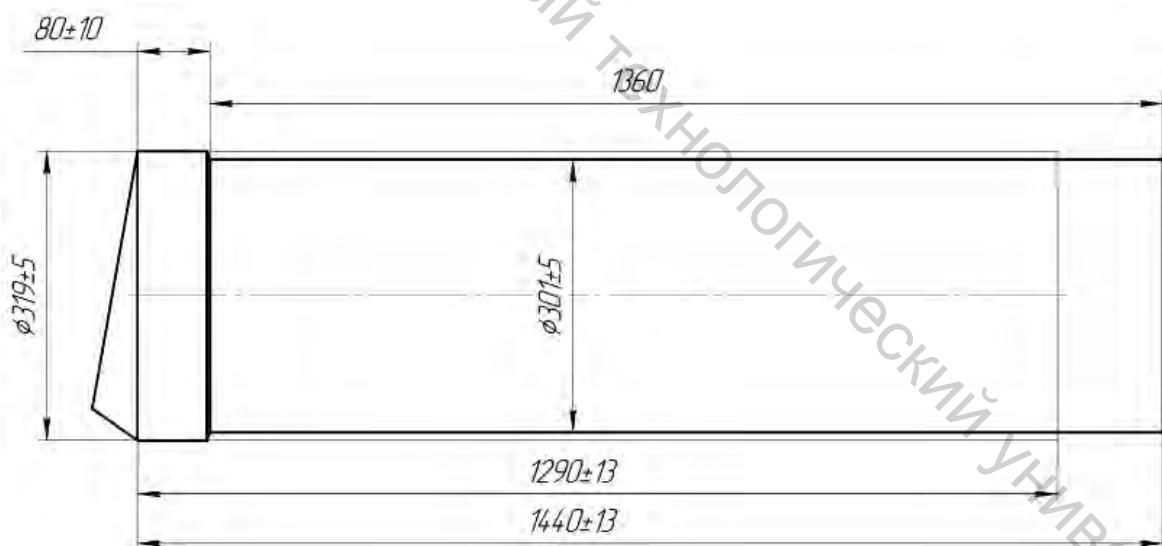


Рисунок Б.7 – Эскиз поковки после выполнения 3 перехода

4 переход. Выполнить присечку от фланца  $\phi 301$  мм на длине 248 мм. Ковать выемку до диаметра  $279\pm5$  мм. Контролировать длину выемки  $288\pm8$  мм, а также общую длину поковки  $1480\pm13$  (рисунок Б.8).

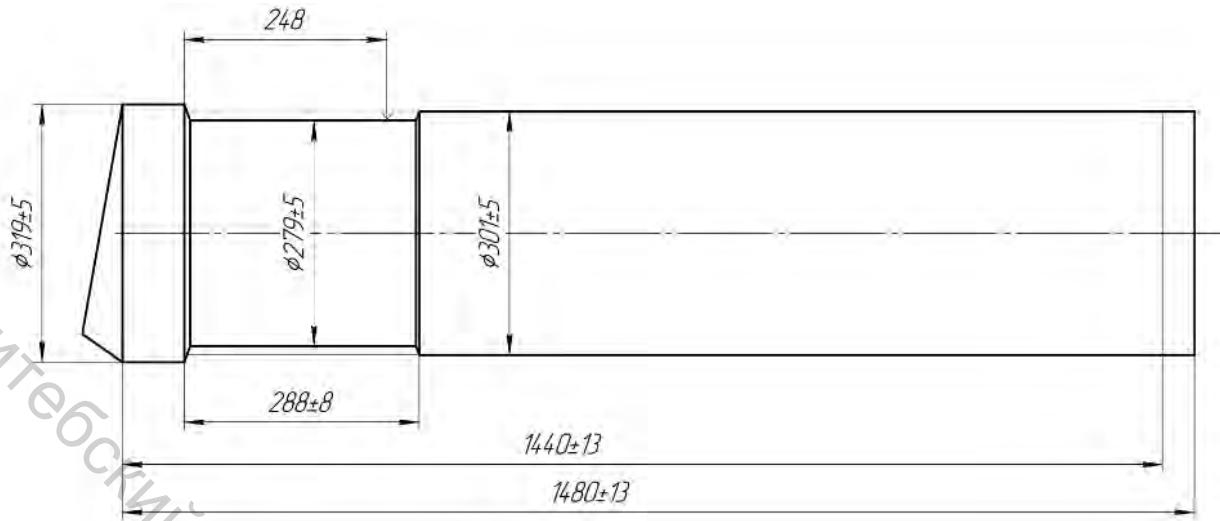


Рисунок Б.8 – Эскиз поковки после выполнения 4 перехода

5 переход. Выполнить присечку от правого торца фланца  $\phi 301$  мм на длине  $1060\pm8$  мм. Протянуть уступ промежуточный 2 справа от присечки до диаметра  $252\pm4$  мм, контролировать длину  $1582\pm13$  мм (рисунок Б.9).

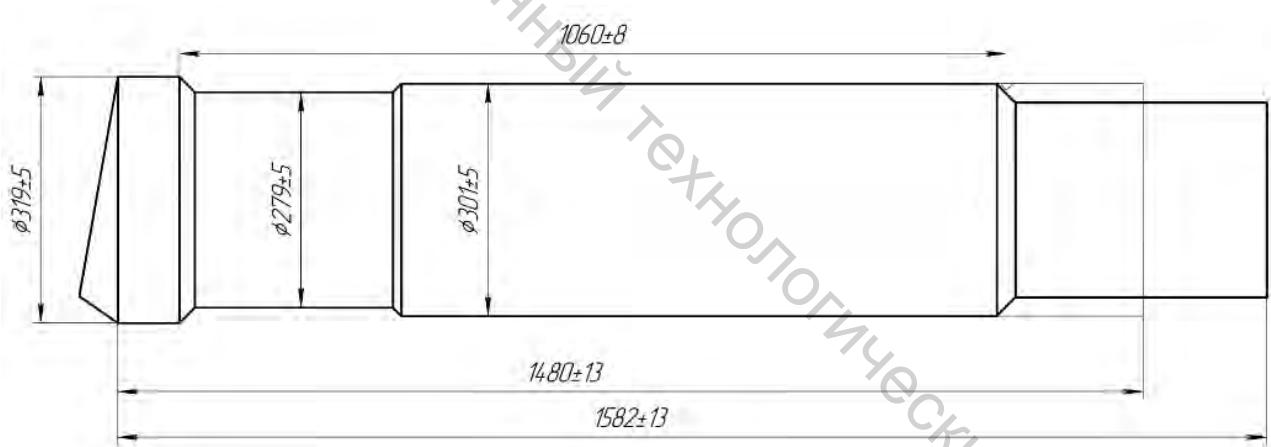


Рисунок Б.9 – Эскиз поковки после выполнения 5 перехода

6 переход. Выполнить присечку от правого торца фланца  $\phi 301$  мм на длине  $1265\pm8$  мм. Протянуть уступ концевой справа от присечки до диаметра  $201\pm4$  мм.

Контролировать длину  $1728\pm13$  мм (рисунок Б.10).

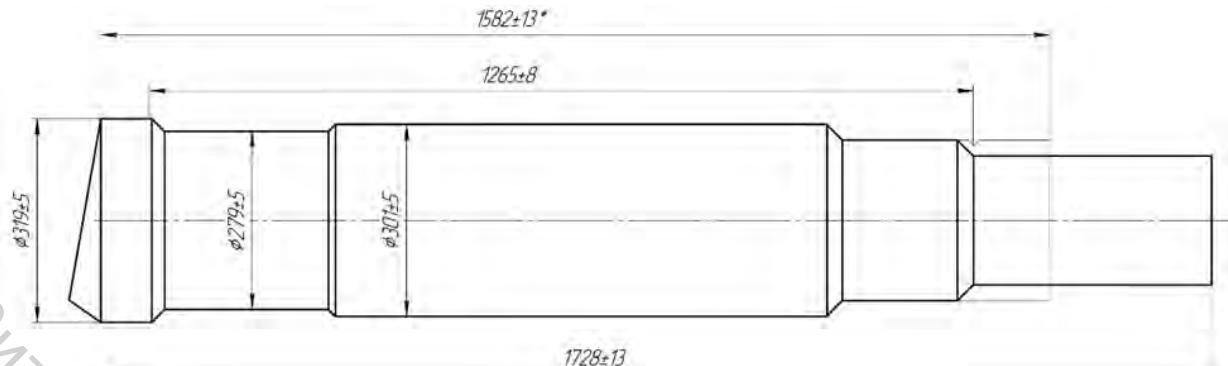


Рисунок Б.10 – Эскиз поковки после выполнения 6 перехода

7 переход. Отрубить отход справа по диаметру  $201\pm4$  мм в общую длину заготовки, контролировать размер  $1644\pm13$  мм (рисунок Б.11).

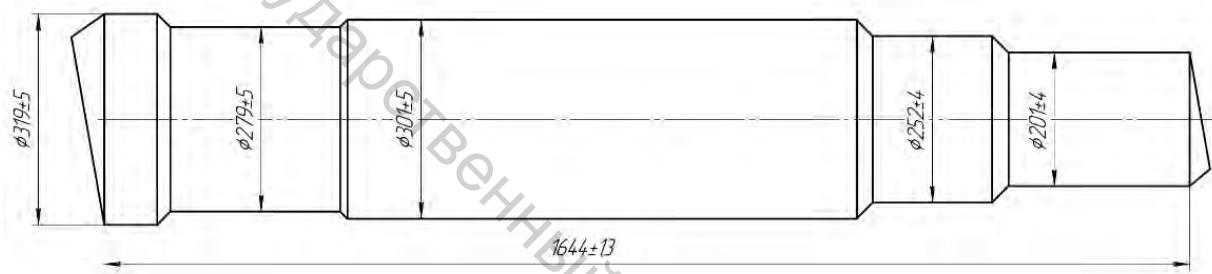


Рисунок Б.11 – Эскиз поковки после выполнения 7 перехода

6 Выбираем температурный интервал ковки для заданной марки стали. В соответствии с данными таблицы 7 для стали 40Х рекомендованы следующие режимы ковки: температура начала ковки максимальная –  $1200^{\circ}\text{C}$ ; температура конца ковки не должна быть выше  $870^{\circ}\text{C}$  и ниже  $800^{\circ}\text{C}$ . Рекомендуемый температурный интервал ковки –  $1180\text{--}830^{\circ}\text{C}$ .

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

НАЗНАЧЕНИЕ ПРИПУСКОВ И ДОПУСКОВ НА ПОКОВКИ ИЗ УГЛЕРОДИСТОЙ И ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ, ИЗГОТОВЛЯЕМЫЕ ШТАМПОВКОЙ НА МОЛОТЕ.

Деталь – шестерня (рисунок В.1).

Штамповочное оборудование – КГШП.

Нагрев заготовок – индукционный.

✓(✓)

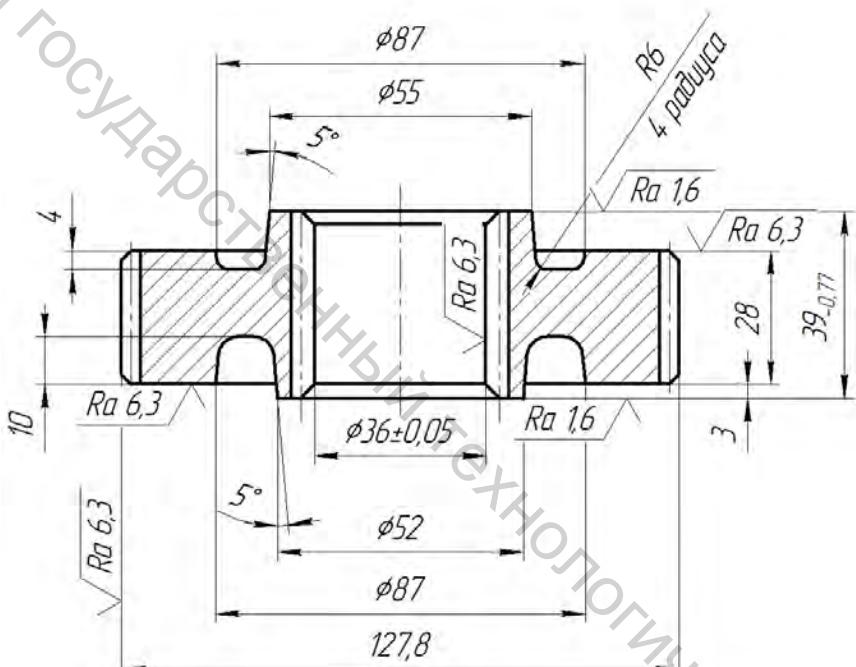


Рисунок В.1 – Чертеж шестерни

### 1 Исходные данные по детали:

- материал – сталь 45ХН2МФА (ГОСТ 4543); 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% Mo; 0,10-0,18 % V;
- масса детали – 1,83 кг.

### 2 Исходные данные для расчета:

Масса поковки расчетная – 3,3 кг; расчетный коэффициент  $k_p=1,8$  (см. таблицу 10);

$$M_{\text{п.р.}} = 1,83 + 1,8 = 3,3 \text{ (кг)}.$$

Класс точности – Т3 (см. таблицу 9).

Группа стали – М2 (см. стр. 18-19):

- средняя массовая доля углерода в стали 45ХН2МФА 0,46 %С; суммарная массовая доля легирующих элементов – 3,81% (0,27% Si; 0,65 % Mn; 0,95 % Cr; 1,55 % Ni; 0,25% Mo; 0,14 % V).

3 Степень сложности – С1 (см. стр. 19–20):

- размеры описывающей поковки фигуры (цилиндр), мм:  
диаметр 134,2 мм (127,8–1,05);  
высота 41 мм (39·1,05) (где 1,05 – коэффициент);
- масса описывающей фигуры (расчетная) – 4,55 кг;  
 $G_{\Pi}/G_{\Phi} = 3,3/4,56 = 0,72$ .

4 Конфигурация поверхности разъема штампа П (плоская).

5 Используя полученные выше данные определяем исходный индекс – 10 (см. рисунок 12).

6 Припуски и кузнечные напуски:

- основные припуски на размеры (см. таблицу 11), мм:  
1,6 – диаметр 127,8 мм и шероховатость поверхности 6,3;  
1,4 – диаметр 36 мм и шероховатость поверхности 6,3;  
1,5 – толщина 39 мм и шероховатость поверхности 1,6;  
1,5 – толщина 28 мм и шероховатость поверхности 6,3.

7 Дополнительные припуски, учитывающие:

- смещение по поверхности разъема штампа – 0,3 мм (см. таблицу 12);
- отклонение от плоскостности – 0,3 мм (см. таблицу 13)
- штамповочные уклоны:

на наружной поверхности – не более  $5^{\circ}$  – принимается  $5^{\circ}$ ;

на внутренней поверхности – не более  $7^{\circ}$  – принимается  $7^{\circ}$ ;

8 Размеры поковки и их допускаемые отклонения (рисунок В.2):

- 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  $39 + (1,5 + 0,3) - 2 = 42,6$  принимается 42,5;

толщина  $28 + (1,5 + 0,3) - 2 = 31,6$  принимается 31,5.

9 Радиус закругления наружных углов – 2,0 мм (минимальный) принимается 3,0 мм (см. таблицу 15).

10 Допускаемые отклонения размеров (см. таблицу 17), мм:

Диаметр  $132^{+1,3}_{-0,7}$

$32^{+0,2}_{-0,9}$

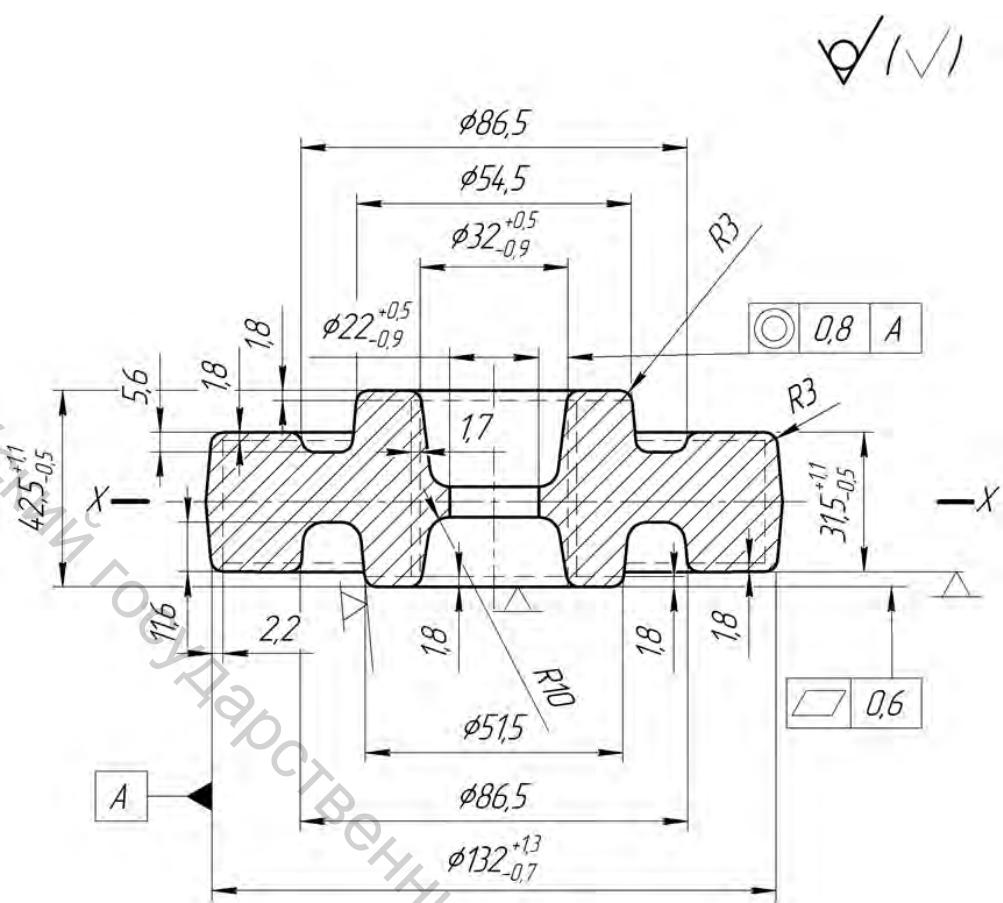
Толщина  $42,5^{+1,1}_{-0,5}$

$31,5^{+1,1}_{-0,5}$

11 Неуказанные предельные отклонения размеров (например, диаметр  $(86,5 \pm 1,1)$  мм) – по п. 5.5 [5].

12 Неуказанные допуски радиусов закругления – по п. 5.23 [5].

13 Допускаемая величина остаточного облоя 0,7 мм – по п. 5.8 [5].



### Рисунок В.2 – Чертеж поковки (фрагмент)

14 Допускаемое отклонение от плоскостности 0,6 мм – по п. 5.16 [5].

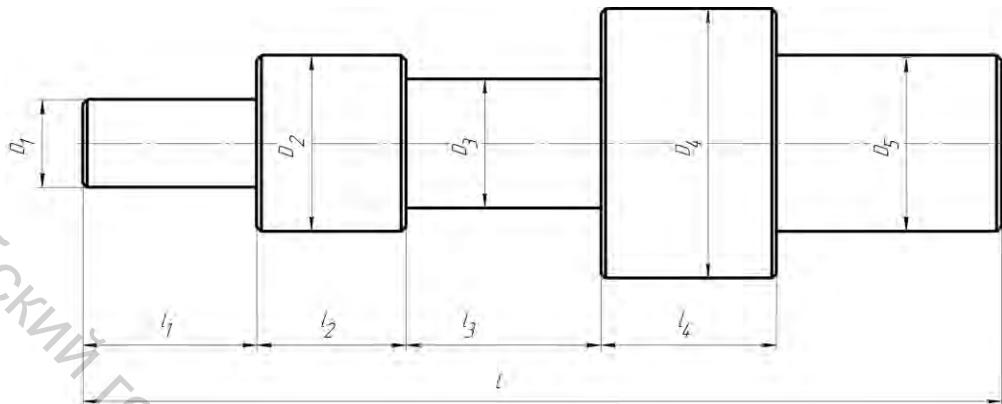
15 Допускаемое отклонение от концентричности пробитого отверстия относительно внешнего контура поковки 0,8 мм (см. таблицу 12 [5])

16 Допускаемое смещение по поверхности разъема штампа 0,6 мм (см. таблицу 9 [5]).

17 Допустимая величина высоты заусенца 3,0 мм по п. 5.10 [5].

**ПРИЛОЖЕНИЕ Г**  
**ВАРИАНТЫ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ**

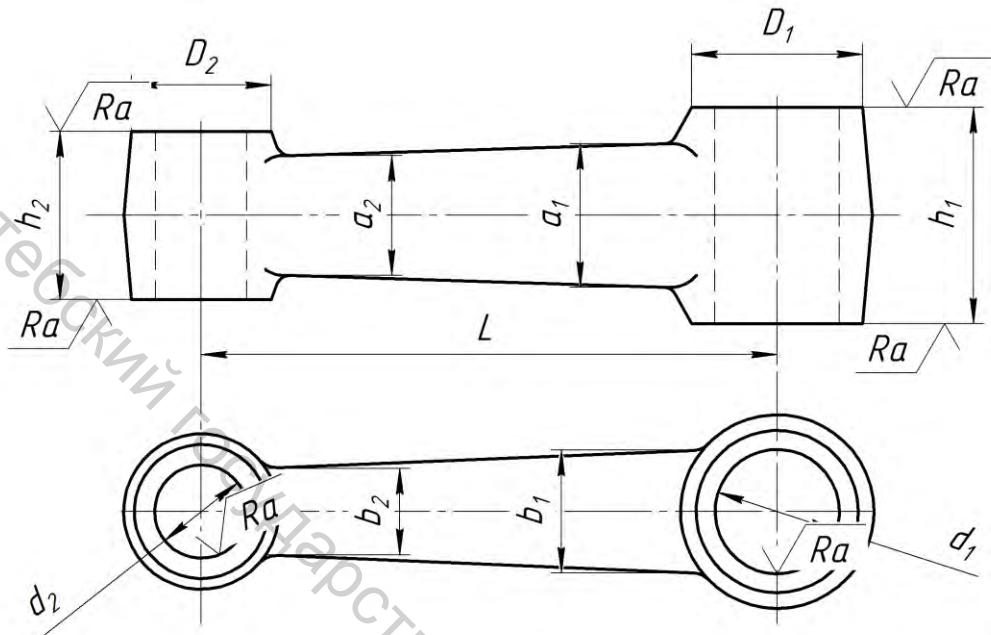
✓/✓



Размеры, мм		№ варианта				
		1	2	3	4	5
Диаметр	$D_1$	а	120	50	50	150
		б	120	100	50	160
		в	120	50	50	160
	$D_2$	а	150	100	100	100
		б	150	110	100	100
		в	150	100	60	60
	$D_3$	а	80	50	150	50
		б	80	50	160	50
		в	80	90	40	50
Длина	$D_4$	а	150	100	100	100
		б	150	110	100	100
		в	150	100	100	60
	$D_5$	а	60	50	50	130
		б	90	100	50	160
		в	70	60	50	160
	$l_1$	а	150	100	100	100
		б	150	150	160	160
		в	150	150	160	150
	$l_2$	а	100	100	100	100
		б	100	110	120	100
		в	130	140	100	100
	$l_3$	а	250	100	90	80
		б	60	100	150	160
		в	150	140	60	250
	$l_4$	а	90	100	100	100
		б	80	90	100	110
		в	100	120	100	120
	$L$	а	750	500	480	500
		б	500	550	600	650
		в	600	650	500	600

Рисунок Г.1 – Ступенчатый вал

✓✓✓

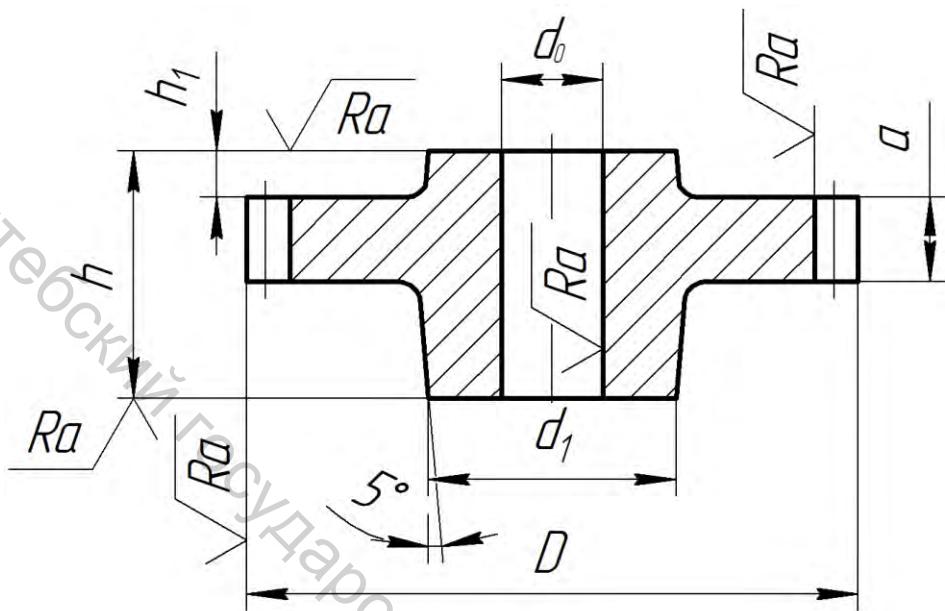


неуказанные радиусы 5мм  
неуказанные уклоны 5°

Вариант	$d_1$	$D_1$	$h_1$	$a_1$	$b_1$	$d_2$	$D_2$	$h_2$	$a_2$	$b_2$	$L$
1	60	75	65	25	50	40	50	42	20	40	165
2	65	80	70	30	60	45	58	48	24	45	180
3	70	85	70	35	70	48	62	50	25	48	200
4	75	90	80	40	80	52	68	55	25	50	220
5	80	98	80	42	85	55	70	58	28	55	240
6	85	105	90	45	90	60	75	62	30	60	260
7	90	110	90	48	95	65	85	68	32	65	290
8	95	120	100	50	100	70	90	75	35	70	310
9	100	130	110	50	100	75	95	75	35	70	330

Рисунок Г.2 – Рычаг

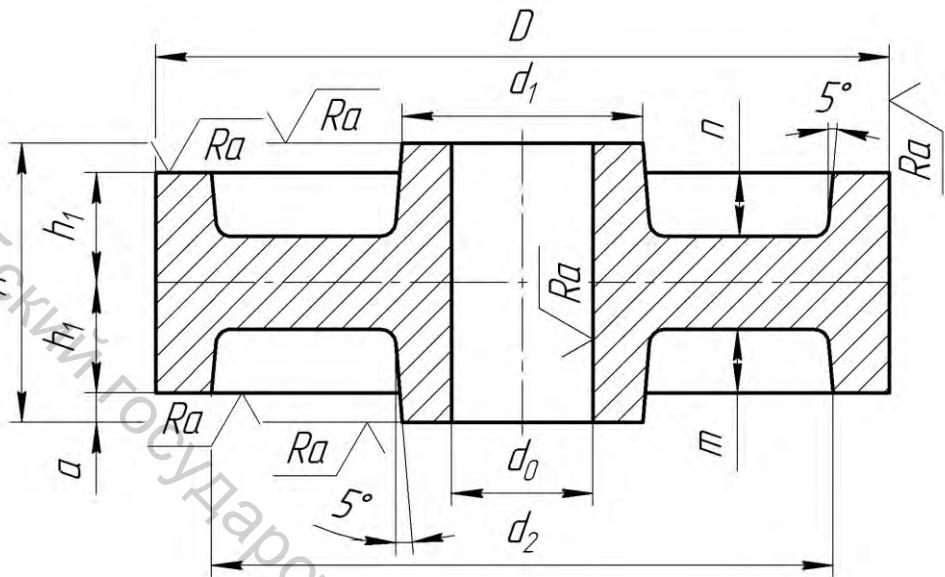
✓✓✓



Вариант	$h$	$h_1$	$d_0$	$D$	$d_1$	$a$
1	50	10	50	125	75	20
2	60	12	55	130	80	22
3	60	15	60	140	85	25
4	70	18	70	160	100	25
5	70	20	70	165	105	30
6	85	20	80	180	110	30
7	90	25	90	190	120	30
8	95	25	100	200	130	30

Рисунок Г.3 – Шестерня

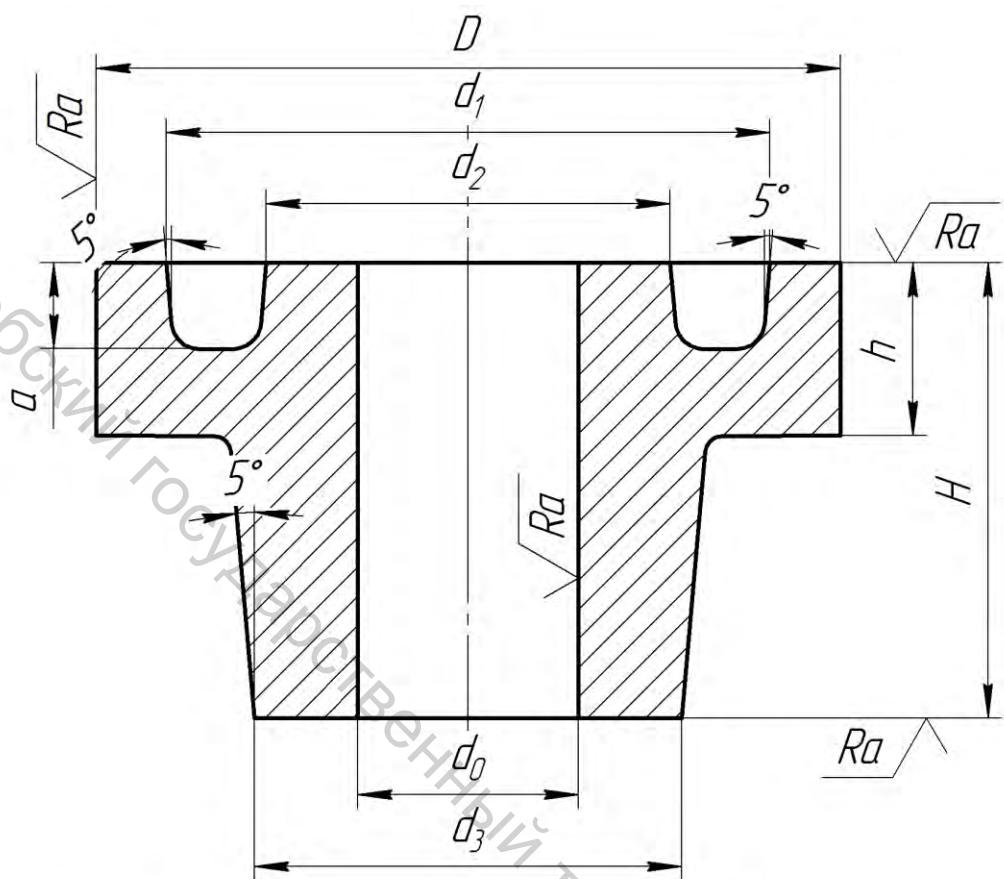
✓✓



Вариант	$D$	$d_0$	$d_1$	$d_2$	$a$	$\pi$	$\eta$	$H$	$h_1$
1	130	50	70	110	5	20	15	50	20
2	130	50	70	110	5	20	15	50	20
3	150	60	80	125	10	20	20	60	20
4	170	65	90	140	8	25	20	65	25
5	170	70	90	140	10	30	20	70	25
6	185	80	110	170	10	30	25	80	30
7	185	90	115	180	10	30	30	90	35
8	200	100	130	200	5	40	30	100	35

Рисунок Г.4 – Шкив

✓✓✓



Вариант	$D$	$d_0$	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$H$	$h$	$a$
1	150	50	120	80	90	60	20	12
2	160	65	125	85	95	70	20	12
3	160	60	130	90	100	70	25	15
4	170	65	130	90	110	70	25	15
5	175	70	140	100	115	80	30	15
6	185	80	150	110	120	90	30	15

Рисунок Г.5 – Ступица