

# **ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Методические указания к практическим занятиям  
для студентов бакалавриата направления 21.03.01*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2020**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра машиностроения

# ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Методические указания к практическим занятиям  
для студентов бакалавриата направления 21.03.01*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2020

УДК 621.7/09612.9 (073)

**ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ:** Методические указания к практическим занятиям / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *С.Ю. Кувшинкин, П.В. Иванова*. СПб, 2020. 61 с.

Даны рекомендации и пояснения по выполнению расчетно-графических работ. Содержатся сведения, необходимые как для выполнения расчетно-графических работ, так и для самостоятельных работ по дисциплине «Технология конструкционных материалов».

Методические указания предназначены для студентов бакалавриата направления 21.03.01 «Нефтегазовое дело».

Научный редактор проф. *А.В. Михайлов*

Рецензент канд. техн. наук *Е.Ю. Степук* (ЗАО «Эс-Сервис»)

## ВВЕДЕНИЕ

Технология конструкционных материалов – комплексная дисциплина, изучающая способы получения и обработки конструкционных материалов с целью изготовления из них деталей машин и элементов конструкций.

На практических занятиях вы познакомитесь с одним из разделов данной дисциплины – заготовительным производством. Заготовительное производство включает в себя технологические процессы изготовления заготовок – изделий, из которых путем механической обработки изготавливают детали машин.

На практических занятиях изучаются следующие технологические процессы: прокатка, литейное производство, свободная ковка, штамповка, волочение, прессование. Основное внимание уделено трем из них – литью в песчано-глинистые формы, свободной ковке и горячей объемной штамповке, получившим наибольшее распространение в качестве методов изготовления заготовок, приближенным по форме к готовым деталям.

В методических указаниях приведены подробные сведения, в том числе и справочный материал, требующиеся для выполнения трех расчетно-графических работ. Выполнив данные работы, вы изучите основы проектирования технологических процессов литья,ковки и штамповки.

Полученные в ходе выполнения и защиты расчетно-графических работ знания и навыки необходимы для выполнения курсовой работы по дисциплине «Технология конструкционных материалов», предусмотренной учебным планом по направлению подготовки бакалавриата 21.03.01 «Нефтегазовое дело».

# РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА №1

## «Разработка технологического процесса изготовления отливки в песчаной форме»

### Введение

Литейным производством называется способ изготовления изделий различной конфигурации и назначения путем заливки расплавленного металла в специальную форму. Формы могут быть песчаными, металлическими, керамическими и т.д. В зависимости от количества получаемых в одной форме отливок формы бывают разовые, полупостоянные и постоянные. Наиболее распространенными являются разовые песчаные формы, в которых получают около 80% всего фасонного литья. Остальные 20% отливок производятся специальными способами: кокильным литьем, литьем по выплавляемым, выжигаемым, растворяемым и другим моделям, литьем в оболочковые формы, центробежным литьем и т.д. Более широкое применение специальных способов литья в промышленности сдерживается их сравнительно высокой стоимостью и невозможностью получения отливок больших размеров и массы. Вместе с тем следует отметить, что отливки, полученные специальными способами, имеют незначительные припуски на механическую обработку, высокие механические свойства и качество. Поэтому окончательный выбор способа литья производится на основе технико-экономического сравнения различных вариантов. Практика показывает, что примерно 50% всех деталей работающих машин и механизмов изготавливаются из литых заготовок. Такое предпочтение данному способу производства заготовок объясняется возможностью получения изделий практически любой конфигурации. К ним относятся корпуса редукторов, подшипников скольжения, фланцы, втулки, звездочки цепных передач и т.д.

**Цель работы** – ознакомление с основными этапами проектирования технологического процесса изготовления отливки в песчаной форме.

Перед выполнением работы студент получает следующие исходные данные:

1. чертеж детали с техническими условиями на ее изготовление;

2. марка литейного сплава;

3. сведения о типе производства (единичное, мелкосерийное, серийное, крупносерийное или массовое).

Исходные данные выдаются преподавателем индивидуально каждому студенту.

Для выполнения работы необходимо:

1. выбрать способ формовки;

1. выбрать положение отливки в форме и назначить плоскости разъема;

2. назначить припуски на механическую обработку на все обрабатываемые поверхности детали, напуски и формовочные уклоны. Разработать чертеж отливки;

3. разработать чертеж модели;

4. разработать чертеж стержня (если стержень необходим);

5. произвести расчет литниковой системы;

6. разработать чертеж литейной формы в сборе.

Графическая часть работы включает в себя эскиз детали, эскиз отливки, эскизы модели, стержня и чертеж литейной формы в сборе. Если для изготовления отливки требуется несколько стержней, вычерчивается один стержень (по выбору студента).

Порядок выполнения работы показан на конкретном примере. Отливаемая деталь - корпус подшипника, материал - чугун СЧ 21, производство мелкосерийное. Эскиз детали представлен на рис. 1.

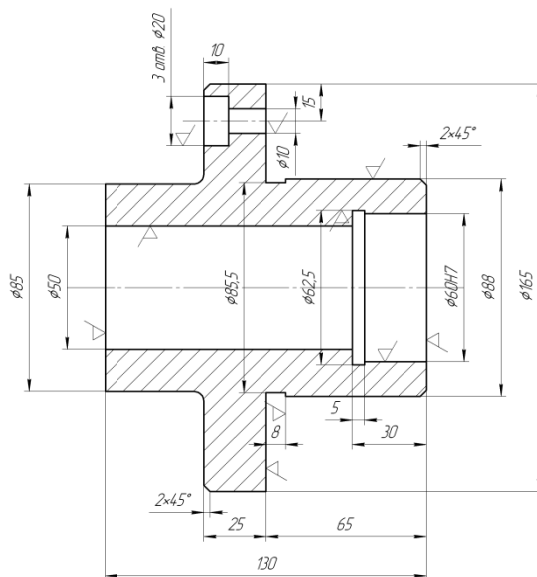


Рис. 1. Эскиз детали

## 1. Выбор положения отливки в форме и определение плоскостей разъема

Прежде чем приступить к разработке технологического процесса изготовления отливки, необходимо тщательно изучить чертеж детали, обратив особое внимание на ее назначение, технические условия, обработку, тип производства. При этом необходимо руководствоваться следующими основными положениями.

1. Способ формовки - машинный или ручной - определяется серийностью производства. При единичном и мелкосерийном производстве применяется ручная формовка, а при серийном, крупносерийном и массовом - машинная. Машинная формовка позволяет получать отливки более высокого качества, сделать процесс значительно менее трудоемким и, следовательно, снизить себестоимость литья.

2. Приемы формовки - в двух или более опоках, по разъемной модели, в стержнях и т.д. - определяются прежде всего конфигурацией и размерами отливки. Из всего многообразия

приемов формовки, накопленных практикой литейного производства, необходимо выбрать (с помощью преподавателя) простейший, обеспечивающий качественное получение отливки, и вместе с тем наименее трудоемкий.

3. При выборе положения отливки в форме необходимо по возможности располагать наиболее ответственные части отливки в нижних и боковых частях формы, так как в ее верхних частях сосредотачиваются газовые и шлаковые включения, ухудшающие механические свойства металла. В нижних частях формы следует также располагать тонкостенные части отливки (например, ребра жесткости), причем вертикальное их расположение предпочтительнее горизонтального, так как вертикальные полости формы лучше заполняются расплавленным металлом при заливке. Оптимальным вариантом является расположение (если это возможно) всей отливки в одной, нижней опоке. Однако во всех случаях выбранное положение отливки должно обеспечить удобство изготовления и сборки формы.

4. Выбор разъема формы или модели определяется многими факторами. В зависимости от конструктивной сложности отливки может быть один или несколько разъемов, причем они могут располагаться как на одном, так и на нескольких уровнях. Необходимо стремиться к уменьшению количества разъемов, так как с их увеличением снижается точность сборки формы, увеличивается трудоемкость и себестоимость литья.

5. При выборе положения отливки в форме и определении разъемов необходимо обеспечить возможность извлечения модели из формы без разрушения последней.

Произведем оценку детали, эскиз которой представлен на рис. 1, с точки зрения расположения в ней зон качественного металла. Наиболее качественной должна быть зона детали ( $\varnothing 60H7$ ), где будет располагаться подшипник. Следовательно, отливка в форме должна быть расположена вертикально, причем внизу должна быть зона подшипника ( $\varnothing 60H7$ ). В этом случае возможность извлечения модели из формы будет обеспечена, если плоскость разъема расположить по торцу фланца. Центральное отверстие ( $\varnothing 50$ ) должно выполняться с помощью стержня. Отверстия во



фланце (под крепеж) ввиду малого диаметра получать литьем нерационально, они будут выполняться механически. Учитывая тип производства – мелкосерийное – принимаем ручную формовку в двух опоках по разъемной модели с использованием деревянного модельного комплекта.

## **2. Назначение припусков на механическую обработку**

Припуском называется слой металла, предназначенный для снятия в процессе механической обработки. Величина припуска должна быть такой, чтобы после механической обработки поверхность детали отвечала требованиям по качеству металла, механическим свойствам и шероховатости. Величина припуска регламентируется государственным стандартом ГОСТ Р 53464-2009 «Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку». Общие припуски рекомендуется определять в следующей последовательности, используя выдержки из стандарта, приведенные в данных методических указаниях.

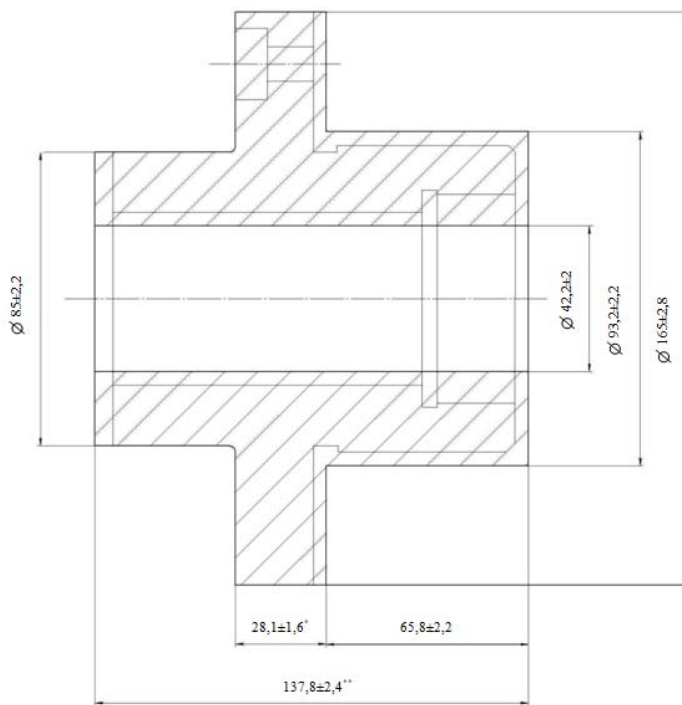
1. По таблице 1 назначить степень точности поверхности отливки.
2. По таблице 2 назначить ряд припусков.
3. По таблице 3 назначить класс размерной точности отливки.
4. По таблице 4 назначить допуск.
5. По таблице 5 назначить общий припуск на механическую обработку.

В соответствии с ГОСТ 2.423-73 припуски на механическую обработку на чертежах изображаются сплошной основной линией поверх контура детали. Величина припуска учитывается в линейных размерах отливки. Отверстия, впадины и другие особенности конфигурации детали, не выполняемые литьем, зачеркиваются сплошной линией. Слой металла, оставляемый на месте не выполняемых литьем элементов детали, называется напуском.

Все поверхности модели, перпендикулярные разьему, должны иметь формовочные уклоны, облегчающие извлечение модели из формы. Следовательно, формовочные уклоны будут

иметь место и на отливке, т.к. последняя повторяет наружную конфигурацию модели. На обрабатываемых поверхностях формовочный уклон назначается сверх припуска на механическую обработку. Значения формовочных уклонов для наружных поверхностей моделей регламентируются ГОСТом 3212-92 (табл. 6 приложения).

Эскиз отливки для рассматриваемого примера представлен на рис. 2.



\*Литейный уклон  $1^{\circ}30'$

\*\* Литейный уклон  $1^{\circ}$

Рис. 2. Эскиз отливки

### **3. Разработка эскиза модели**

Модель и стержневой ящик образуют модельный комплект. Модель - это прообраз будущей отливки. С помощью модели формообразуется, в основном, наружная конфигурация отливки. От отливки модель отличается материалом, наличием стержневых знаков (если отливка полая и для формирования полости необходим стержень), наличием разъема в случае, если формовка производится по разъемной модели, размерами, превышающими соответствующие размеры отливки на величину линейной усадки сплава. Величину линейной усадки для различных литейных сплавов можно определить по таблице 7 приложения.

В качестве материала для изготовления моделей используют дерево, металлические сплавы, пластмассы и т.д. Металлические модели применяются в серийном производстве при машинной формовке. В единичном и мелкосерийном производстве применяются модели из различных пород дерева. Модели могут быть цельными или иметь один и более разъемов, т.е. состоять из нескольких частей. Отдельные части разъемных моделей центрируются с помощью шипов или дюбелей. На моделях могут быть съемные части, закрепленные шпильками, штырями, крючками и т.п.

На модели могут быть стержневые знаки. При формовке с помощью этих элементов получают соответствующие полости (углубления) в форме, которые служат для установки стержня и его ориентировки при сборке литейной формы. В зависимости от расположения стержня в форме стержневые знаки могут быть горизонтальными и вертикальными. Размеры стержневых знаков регламентируются ГОСТом 3212-92.

Данные для выбора длины горизонтальных знаков представлены в таблице 8, высота вертикальных знаков - в таблицах 9 и 10, уклонов знаков - в таблице 11 приложения.

Эскиз модели для рассматриваемого примера представлен на рис.3.

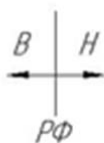
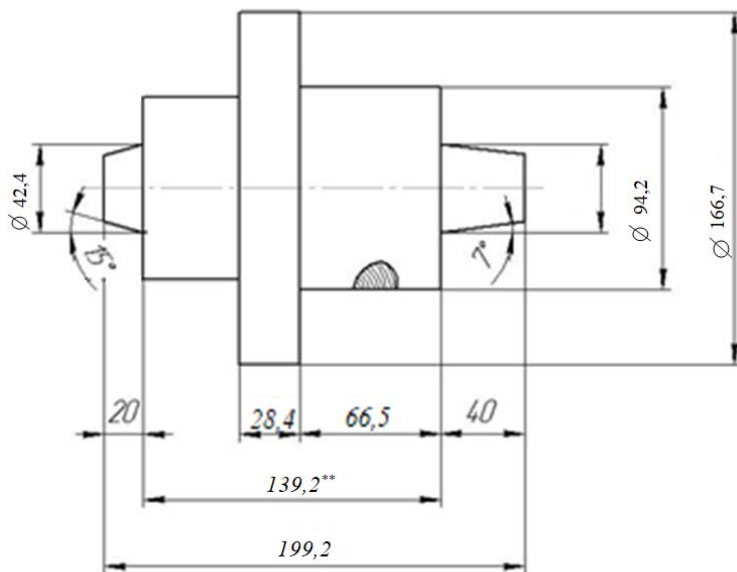


Рис.3. Эскиз модели

Размеры детали, соответствующие им размеры отливки и модели, величины припусков на механическую обработку и припусков на усадку необходимо свести в таблицу.

Размер детали, мм	Допуск, м	Припуск на мех. обработку, мм	Размер отливки, мм	Припуск на усадку, мм	Размер модели, мм
Ø50	±2	3,6x2	Ø42,8	0,4	Ø42,4
Ø88	±2,2	2,6x2	Ø93,2	1	Ø94,2
Ø85	±2,2	-	Ø85	0,9	Ø85,9
Ø165	±2,8	-	Ø165	1,7	Ø166,7
130	±2,4	3,9x2	137,8	1,4	139,2
25	±1,6	3,1	28,1	0,3	28,4
65	±2,2	3,9-3,1	65,8	0,7	66,5

#### 4. Разработка эскиза стержня

Если модель служит для получения наружной конфигурации будущей отливки, то стержень формирует ее внутренние очертания. Стержни изготавливают из специальных стержневых смесей. В зависимости от применяемых материалов они могут быть песчано-глинистыми, песчано-масляными, песчано-цементными, быстротвердеющими и т.д. В единичном и мелкосерийном производстве уплотнение стержневой смеси производится вручную (трамбовками, пневмотрамбовками). В массовом производстве для этой цели используется мундштучные, прессовые, встряхивающие, пескодувные, пескоструйные и другие машины.

После формовки, уплотнения и извлечения стержней из ящиков стержни подвергаются сушке в печах при температуре 175-325<sup>0</sup> С. Сушка способствует повышению прочности и газопроницаемости стержней. Для более высокой газопроницаемости в стержне делают вентиляционные каналы. Большая прочность, особенно крупных стержней, достигается использованием металлических каркасов (проволочных, сварных, литых). После изготовления отливки стержень, находящийся внутри нее, разрушается. Разрушение стержня в единичном производстве производится вручную, в серийном производстве - с помощью вибрационных машин или гидравлическим способом.

На эскизе стержня должны быть показаны вентиляционный канал, арматура и основные размеры. Эскиз стержня для рассматриваемого примера представлен на рисунке 4.

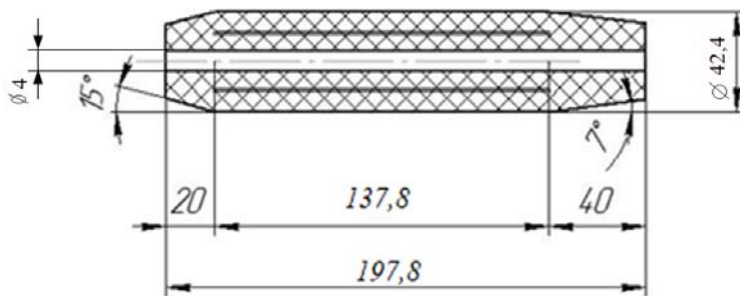


Рис. 4. Эскиз стержня

## 5. Расчет литниковой системы

Литниковой системой называется совокупность каналов в литейной форме, подводящих расплавленный металл, улавливающих шлак и неметаллические включения, отводящих воздух, вытесняемый из литейной формы при ее заливке, а также питающих отливку в процессе ее кристаллизации. По конструкции различают горизонтальные, верхние, дождевые, сифонные, ярусные (этажные), комбинированные литниковые системы. Наибольшее распространение получили нормальные горизонтальные системы с фильтровальными сетками. Элементами такой системы являются воронка, или чаша 1, служащая для приема расплавленного металла, заливаемого из ковша, фильтровальная сетка 2, предназначенная для удержания шлака, стояк 3, представляющий собой вертикальный канал в форме. Стояк имеет коническую боковую поверхность, так как получается с помощью модели, имеющий формовочный уклон. Кроме того, в литниковую систему входит шлакоуловитель 4, служащий для улавливания шлака и различных включений, а также для распределения жидкого металла по литейной форме. Шлакоуловитель представляет собой горизонтальный канал, имеющий трапециевидную форму. Такая форма обеспечивает наиболее полное улавливание шлака. Последний элемент системы – питатели 5 - представляют собой один или несколько горизонтальных каналов, непосредственно подводящих металл в полость формы. Эскиз элементов нормальной горизонтальной литниковой системы представлен на рисунке 5.

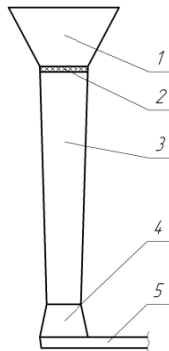


Рис. 5. Эскиз литниковой системы

Обычно воронка, стояк и шлакоуловитель располагаются в верхней опоке, т.е. выше разъема, а питатель - в нижней. Для отвода воздуха из литейной формы и контроля ее заполнения жидким металлом служит выпор – дополнительный вертикальный канал. Для питания отливки расплавленным металлом при ее кристаллизации служат прибыли, представляющие собой массивные объемы (каналы, полости). Сечение и размеры прибылей должны быть рассчитаны так, чтобы затвердевание металла в них происходило только после затвердевания самой отливки. Отливки малых размеров (особенно из чугуна) отливаются без прибылей. Необходимо помнить, что литник (затвердевшая отливки литниковая система) и прибыль являются отходом литейного производства.

Расчет литниковой системы сводится к определению площадей поперечных сечений питателей ( $\Sigma F_{пит}$ ), шлакоуловителя ( $F_{шл}$ ) и стояка ( $F_{ст}$ ). Суммарная площадь поперечных сечений питателей определяется по следующей зависимости:

$$\Sigma F_{пит} = \frac{Q}{\rho \mu \tau \sqrt{2gH}}, \text{ м}^2,$$

где  $Q$ , кг – масса отливки и прибыли,  
 $\rho$ , кг/м<sup>3</sup> – плотность металла (для чугуна  $\rho \approx 7500$ , для стали  $\rho \approx 7850$  кг/м<sup>3</sup>),

$\mu = 0,4 \div 0,6$  – коэффициент истечения,

$\tau = 4 \div 9$  с – время заливки формы,

$g = 9,81$  м/с<sup>2</sup> – ускорение свободного падения,

$H$ , м – средний напор (высота от верхнего края воронки до центра масс отливки).

Площади поперечных сечений шлакоуловителя и стояка выбираются из соотношений:

1. для отливок из чугуна массой до 1 т и более 1 т соответственно  $\Sigma F_{пит}:F_{шл}:F_{ст}=1:1,1:1,15$  и  $\Sigma F_{пит}:F_{шл}:F_{ст}=1:1,2:1,4$ ;

2. для стального литья  $\Sigma F_{пит}:F_{шл}:F_{ст}=1:1,3:1,6$ .

Этими зависимостями следует руководствоваться при вычерчивании формы в сборе для примерного соблюдения соотношения сечений каналов литниковой системы.

## 6. Литейная форма в сборе

Сборка литейной формы - сложная и ответственная операция, во многом определяющая качество будущей отливки. Опки после извлечения из них модели и установки стержней совмещаются по направляющим штырям. Во избежание подъема и смещения верхней опоки относительно нижней на верхнюю опоку устанавливают грузы, опоки скрепляют болтами, скобами, струбцинами. После этого форма считается готовой для заливки ее расплавленным металлом. Заливка формы производится из разливного ковша. После охлаждения форму разрушают, отливку очищают от пригоревшей формовочной смеси, отламывают, отрубаят или отпиливают литник, разрушают стержень. После дополнительной очистки и необходимого контроля отливка поступает на механическую обработку. Форма в сборе вычерчивается схематично, но с соблюдением пропорций.

Эскиз литейной формы в сборе для рассматриваемого примера представлен на рис. 6.

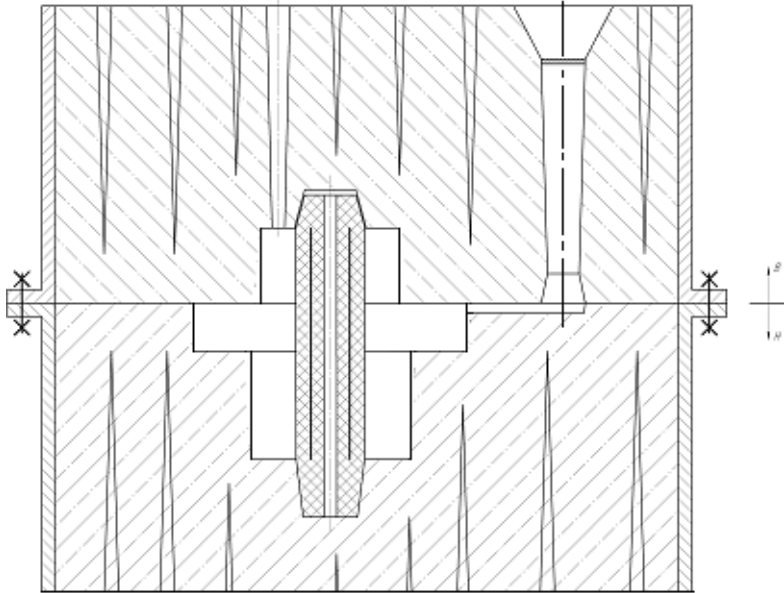


Рис. 6. Эскиз формы в сборе



## 7. Содержание работы и требования к ее оформлению

Пояснительная записка должна содержать цель работы, исходные данные, подробные комментарии к выбору положения отливки в форме, плоскостей разъема, назначению припусков на механическую обработку, напусков, формовочных уклонов, припусков на усадку, размеров и уклонов стержневых знаков и стержня, расчет литниковой системы и вывод.

Графическая часть включает в себя эскизы детали, отливки, модели, стержня и чертеж литейной формы в сборе.

Отчет должен быть оформлен на стандартных листах формата А4 и содержать титульный лист. Текст необходимо набрать на компьютере. Графическая часть оформляется в соответствии с требованиями ЕСКД в графическом редакторе (предпочтительно) либо от руки.

Таблица 1

**Степени точности поверхностей отливок**

Технологический процесс литья	Наибольший габаритный размер отливки, мм	Тип сплава		
		Нетермообработываемые черные и цветные тугоплавкие сплавы	Термообработываемые чугуны и цветные тугоплавкие сплавы	Термообработываемые стальные сплавы
		Степень точности поверхностей		
В песчаноглинистые сырые формы из низковлажных высокопрочных смесей с высоким уплотнением	До 100	6-16	9-16	10-17
	100-250	9-16	10-17	11-18
	250-630	10-17	11-18	12-19
	630-1600	11-18	12-19	13-19
	1600-4000	12-19	13-19	14-20

В таблице 1 указаны диапазоны степеней точности поверхности отливок. Меньшие из приведенных значений относятся к простым

отливкам и условиям массового производства, большие – к сложным отливкам единичного и мелкосерийного производства, средние – к отливкам средней сложности и условиям серийного производства.

*Таблица 2*

**Ряды припусков на обработку отливок**

Степень точности	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	13-14	15
Ряды припусков	1-2	1-3	1-4	2-5	3-6	4-7	5-8	6-9

*Продолжение табл. 2*

Степень точности	16	17	18	19	20	21	22
Ряды припусков	7-10	8-11	9-12	10-13	11-17	12-15	13-16

Меньшие значения рядов припусков из диапазонов их значений следует принимать для термообрабатываемых отливок из цветных легкоплавких сплавов, большие значения – для отливок из ковкого чугуна, средние – для отливок из серого и высокопрочного чугуна, а также отливок из стальных и цветных тугоплавких сплавов.

Для поверхностей отливок, расположенных в верхней части литейной формы, в единичном и мелкосерийном производстве допускается принимать значения рядов припусков, увеличенные на 1-3 единицы.

Таблица 3

**Классы размерной точности отливок**

Технологический процесс литья	Наибольший габаритный размер отливки, мм	Тип сплава		
		Не термообработываемые черные и цветные тугоплавкие сплавы	Термообработываемые чугунные и цветные тугоплавкие сплавы	Термообработываемые стальные сплавы
		Класс размерной точности		
В песчано-глинистые сырые формы из низковлажных высокопрочных смесей с высоким уплотнением	До 100	6-11г	7г-11	7-12
	100-250	7г-11	7-12	8-13г
	250-630	7-12	8-13г	9г-13
	630-1600	8-13г	9г-13	9-13
	1600-4000	9г-13	9-13	10-14

В таблице 3 указаны классы размерной точности отливок. Меньшие из приведенных значений относятся к простым отливкам и условиям массового производства, большие – к сложным отливкам единичного и мелкосерийного производства, средние – к отливкам средней сложности и условиям серийного производства.

Таблица 4

## Допуски линейных размеров отливок

Номинальный размер, мм	Допуск размеров отливок, не более, для классов точности, мм															
	6	7т	7	8	9т	9	10	11т	11	12	13т	13	14	15	16	
До 4	0,32	0,4	0,5	0,64	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	-	-	-	-	-	-	
4-6	0,36	0,44	0,56	0,7	0,9	1,1	1,4	1,8	2,2	2,6	-	-	-	-	-	
6-10	0,4	0,5	0,64	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	-	-	-	
10-16	0,44	0,56	0,7	0,9	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	-	-	
16-25	0,5	0,64	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10	12	
25-40	0,56	0,7	0,9	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11	14	
40-63	0,64	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10	12	16	
63-100	0,7	0,9	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11	14	18	
100-160	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10	12	16	20	
160-250	0,9	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11	14	18	22	
250-400	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10	12	16	20	24	
400-630	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11	14	18	22	28	
630-1000	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10	12	16	20	24	32	
1000-1600	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11	14	18	22	28	36	
1600-2500	-	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10	12	16	20	24	32	40	
2500-4000	-	-	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11	14	18	22	28	36	44	

Таблица 5

## Общий припуск поверхности отливки

Допуск, мм	Вид окончательной мехобработки	Общий припуск на сторону, мм, для ряда припуска															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0,32 - 0,36	черн.	0,3	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,9	2,3	2,8	3,3	4,3	-	-
	чист.	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,6	1,8	2,3	2,7	3,3	3,8	5,0	-	-
0,36 - 0,4	черн.	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,9	2,3	2,8	3,3	4,3	-	-
	чист.	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,6	1,8	2,3	2,7	3,3	3,8	5,0	-	-
0,4 - 0,44	черн.	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,9	2,3	2,8	3,3	4,3	-	-
	чист.	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,6	1,8	2,3	2,7	3,3	3,8	5,0	-	-
0,44 - 0,5	черн.	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	2,0	2,4	2,8	3,4	4,4	5,3	-
	чист.	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,7	1,9	2,4	2,8	3,4	3,8	5,1	6,1	-
0,5 - 0,56	черн.	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	2,0	2,4	2,9	3,4	4,4	5,5	-
	чист.	0,6	0,8	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,8	2,0	2,5	2,9	3,5	4,0	5,2	6,2	-
0,56 - 0,64	черн.	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,5	1,7	2,1	2,4	2,9	3,5	4,4	5,5	6,5
	чист.	0,8	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8	2,1	2,6	3,0	3,6	4,1	5,3	6,3	7,3
0,64 - 0,7	черн.	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,5	1,7	2,1	2,5	3,0	3,4	4,5	5,6	6,5
	чист.	0,8	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,2	2,6	3,1	3,6	4,1	5,3	6,3	7,5
0,7 - 0,8	черн.	0,6	0,8	0,8	0,9	1,1	1,1	1,4	1,6	1,8	2,2	2,6	3,1	3,6	4,6	5,6	6,5
	чист.	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,6	2,1	2,3	2,6	3,1	3,8	4,3	5,4	6,5	7,5
0,8 - 0,9	черн.	0,7	0,8	0,8	1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,2	2,6	3,2	3,7	4,6	5,6	6,7
	чист.	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,2	2,4	2,9	3,4	3,9	4,4	5,6	6,7	7,8
0,9 - 1,0	черн.	0,8	0,8	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,7	1,9	2,3	2,7	3,1	3,6	4,8	5,6	6,7
	чист.	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,3	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,8	6,7	7,8
1,0 - 1,1	черн.	0,8	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8	2,0	2,4	2,7	3,3	3,6	4,8	5,8	6,7
	чист.	1,4	1,4	1,6	1,6	1,8	1,9	2,1	2,4	2,6	3,1	3,5	4,1	4,6	5,8	6,7	7,8
1,1 - 1,2	черн.	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8	2,0	2,4	2,8	3,4	3,8	4,8	5,8	6,9
	чист.	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,5	2,7	3,1	3,6	4,3	4,6	5,8	6,9	8,0
1,2 - 1,4	черн.	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,6	2,0	2,1	2,6	2,9	3,5	3,9	4,9	6,0	6,9
	чист.	1,8	1,9	1,9	2,1	2,2	2,3	2,5	2,6	3,0	3,4	3,9	4,5	5,0	6,1	7,1	8,3
1,4 - 1,6	черн.	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,1	2,3	2,7	3,1	3,6	4,0	5,0	6,0	6,9
	чист.	1,9	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	3,0	3,1	3,6	4,1	4,6	5,1	6,3	7,3	8,5
1,6 - 1,8	черн.	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,1	2,3	2,7	3,1	3,6	4,0	5,0	6,0	7,1
	чист.	2,1	2,2	2,3	2,4	2,6	2,6	2,9	3,1	3,3	3,8	4,3	4,9	5,3	6,5	7,5	8,5

Продолжение таблицы 5

Допуск, мм	Вид окончательной мехобработки	Общий припуск на сторону, мм, для ряда припуска															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1,8 - 2,0	черн.	1,3	1,4	1,6	1,6	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,8	3,3	3,6	4,3	5,1	6,1	7,3
	чист.	2,3	2,4	2,6	2,6	2,7	2,8	3,0	3,4	3,6	4,0	4,4	5,0	5,4	6,7	7,8	8,8
2,0 - 2,2	черн.	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,4	2,6	3,0	3,4	3,9	4,4	5,4	6,3	7,3
	чист.	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,3	3,6	3,8	4,3	4,6	5,1	5,6	6,9	8,0	9,0
2,2 - 2,4	черн.	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,3	2,5	2,7	3,1	3,4	4,0	4,5	5,5	6,5	7,6
	чист.	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	3,3	3,6	3,6	3,9	4,3	4,9	5,3	6,0	7,1	8,5	9,3
2,4 - 2,8	черн.	1,8	1,9	1,9	2,1	2,2	2,3	2,5	2,6	2,9	3,3	3,6	4,1	4,6	5,6	6,7	7,8
	чист.	3,0	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,9	4,0	4,3	4,4	5,2	5,5	6,1	7,5	8,8	9,3
2,8 - 3,2	черн.	1,9	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,9	3,1	3,4	3,9	4,4	4,9	5,8	6,9	7,8
	чист.	3,4	3,6	3,6	3,8	3,9	4,0	4,1	4,3	4,6	5,1	5,3	6,1	6,7	7,5	8,8	9,8
3,2 - 3,6	черн.	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1	3,3	3,6	4,1	4,6	5,2	6,2	7,1	8,0
	чист.	3,9	4,0	4,1	4,3	4,3	4,4	4,6	4,9	5,2	5,3	6,0	6,3	7,1	8,3	9,3	10,5
3,6 - 4,0	черн.	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,2	3,3	3,5	3,9	4,3	4,8	5,3	6,3	7,3	8,3
	чист.	4,3	4,4	4,4	4,6	4,6	4,6	4,9	5,3	5,5	6,0	6,3	6,9	7,5	8,8	9,8	10,5
4,0 - 4,4	черн.	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,3	3,4	3,7	4,0	4,4	4,9	5,5	6,5	7,5	8,5
	чист.	4,6	4,6	4,8	4,8	4,9	5,0	5,1	5,4	5,6	6,1	6,7	7,3	7,6	9,0	9,8	11,0
4,4 - 5,0	черн.	2,9	3,0	3,1	3,1	3,3	3,4	3,6	3,6	4,0	4,4	4,6	5,3	5,8	6,7	7,8	8,8
	чист.	5,0	5,1	5,3	5,3	5,4	5,6	5,8	6,0	6,3	6,7	7,1	7,8	7,6	9,5	10,5	11,5
5,0 - 5,6	черн.	-	3,3	3,4	3,4	3,6	3,6	3,9	4,1	4,3	4,8	5,2	5,6	6,2	7,1	8,0	9,0
	чист.	-	5,6	5,8	6,0	6,0	6,2	6,3	6,7	6,9	7,3	7,8	8,3	8,8	10,0	11,0	12,0
5,6 - 6,4	черн.	-	3,6	3,9	4,0	4,1	4,3	4,4	4,6	4,8	5,1	5,6	6,2	6,5	7,5	8,5	9,5
	чист.	-	6,1	6,3	6,3	6,5	6,5	6,7	7,1	7,3	7,8	8,3	8,6	9,3	10,5	11,5	12,5
6,4 - 7,0	черн.	-	-	4,3	4,3	4,4	4,5	4,8	4,9	5,2	5,4	6,0	6,5	6,9	8,0	9,0	9,8
	чист.	-	-	6,9	7,1	7,1	7,3	7,5	7,8	8,0	8,3	8,5	9,5	9,6	11,0	12,0	13,0

Продолжение таблицы 5

Допуск, мм	Вид окончательной мехобработки	Общий припуск на сторону, мм, для ряда припуска															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
7,0 - 8,0	черн.	-	-	4,8	4,8	4,9	5,0	5,1	5,5	5,6	6,0	6,5	6,9	7,5	8,5	9,5	10,5
	чист.	-	-	8,0	8,0	8,0	8,3	8,5	8,8	9,0	9,5	9,6	10,5	11,0	12,0	13,0	14,0
8,0 - 9,0	черн.	-	-	-	5,3	5,4	5,6	5,8	6,0	6,1	6,5	6,9	7,5	8,0	9,0	9,6	11,0
	чист.	-	-	-	9,0	9,0	9,3	9,3	9,8	9,8	10,5	10,5	11,5	12,0	13,0	14,0	15,0
9,0 - 10	черн.	-	-	-	6,0	6,0	6,2	6,3	6,5	6,7	7,1	7,5	8,0	8,5	9,5	10,5	11,5
	чист.	-	-	-	9,6	9,6	9,8	10,0	10,5	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5	14,0	15,0	16,0
10-11	черн.	-	-	-	-	6,5	6,5	6,7	6,9	7,1	7,5	8,0	8,5	9,0	9,8	11,0	12,0
	чист.	-	-	-	-	10,0	10,0	10,5	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5	13,0	14,0	15,0	16,0
11-12	черн.	-	-	-	-	7,1	7,3	7,5	7,5	7,8	8,3	8,5	9,0	9,5	10,5	12,5	14,5
	чист.	-	-	-	-	11,0	11,0	11,5	11,5	12,0	12,5	12,5	13,5	14,0	15,0	16,0	17,0
12-14	черн.	-	-	-	-	-	7,5	8,5	8,8	9,0	9,5	9,8	10,5	11,0	12,0	13,0	14,0
	чист.	-	-	-	-	-	12,5	13,0	13,0	13,5	14,0	14,5	16,0	16,5	16,5	17,5	18,5
14-16	черн.	-	-	-	-	-	9,5	9,5	9,8	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	13,0	14,0	15,0
	чист.	-	-	-	-	-	15,0	15,0	15,5	15,5	16,0	16,5	17,0	17,5	19,0	20,0	21,0
16-18	черн.	-	-	-	-	-	-	10,5	11,0	11,0	11,5	12,0	12,5	13,0	14,0	15,0	16,0
	чист.	-	-	-	-	-	-	15,5	16,0	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	19,5	20,5	21,0
18-20	черн.	-	-	-	-	-	-	11,5	11,5	12,0	12,5	12,5	13,0	13,5	14,5	15,5	16,5
	чист.	-	-	-	-	-	-	17,5	17,5	18,0	18,5	18,5	18,5	20,0	21,0	22,0	23,0
20-22	черн.	-	-	-	-	-	-	-	13,0	13,5	13,5	14,0	14,5	15,0	16,0	17,0	18,0
	чист.	-	-	-	-	-	-	-	19,5	19,5	20,0	20,5	21,0	21,0	22,5	23,5	25,0
22-24	черн.	-	-	-	-	-	-	-	14,0	14,5	15,0	15,0	15,5	16,0	17,0	18,0	19,0
	чист.	-	-	-	-	-	-	-	21,0	21,0	22,0	22,0	22,5	23,0	24,0	25,0	26,5
24-28	черн.	-	-	-	-	-	-	-	-	16,5	17,0	17,5	18,0	18,5	19,5	20,5	21,0

Продолжение таблицы 5

Допуск, мм	Вид окончательной мехобработки	Общий припуск на сторону, мм, для ряда припуска															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
28-32	черн.	-	-	-	-	-	-	-	-	19,0	19,0	19,5	20,0	20,5	22,0	22,5	23,5
	чист.	-	-	-	-	-	-	-	-	26,0	26,5	27,0	28,0	28,0	29,0	30,5	31,5
32-36	черн.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21,0	22,0	22,5	23,0	24,0	25,0	26,0
	чист.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30,5	30,5	31,5	31,5	33,5	34,5	36,5
36-40	черн.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23,5	24,0	25,0	25,0	26,0	27,0	28,0
	чист.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32,5	33,5	33,5	34,5	35,5	36,5	37,5
40-44	черн.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26,0	26,5	27,0	28,0	29,0	30,0
	чист.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36,5	37,5	37,5	39,0	40,0	41,0

Окончательную механическую обработку следует принимать: для сопрягаемых поверхностей детали – чистовую, для свободных поверхностей – черновую. На необрабатываемые поверхности припуски не назначают.



Таблица 6

## Уклоны моделей

Измеряемая высота поверхности модели, мм	Модель	
	металлическая	деревянная
до 20	1° 30'	3°
21-50	1°	1° 30'
51-100	0° 45'	1°
101-200	0° 30'	0° 45'
201-300	0° 20'	0° 30'
301-500	0° 20'	0° 30'
501-800	-	0° 30'
801-1180	-	0° 20'
1181-1600	-	0° 20'
1601-2000	-	0° 20'
2001-2500	-	0° 15'
более 2500	-	0° 15'

Таблица 7

## Линейная усадка литейных сплавов

Сплав	Линейная усадка, %		
	мелкое литье	среднее литье	крупное литье
Серый чугун	0,8 – 1,2	0,6 – 1,0	0,4 – 0,8
Сталь	1,8 – 2,2	1,6 – 2,2	1,4 – 1,8
Бронза, латунь	1,6 – 2,0	1,5 – 1,9	1,4 – 1,8
Алюминиевые и магниевые сплавы	1,0 – 1,5	0,8 – 1,4	1,8 – 2,3

Таблица 8

**Длина горизонтальных стержневых знаков  $l$ , мм**

D или (a+b)/2, мм	Длина стержня L, мм							
	до 50	51- 150	151- 300	301- 500	501- 750	751- 1000	1001- 1500	1501- 2000
до 25	15	25	40	-	-	-	-	-
25-50	20	30	45	60	-	-	-	-
51-100	25	35	50	70	90	110	-	-
101-200	30	40	55	80	100	120	140	160
201-300	-	50	60	90	110	130	150	180
301-400	-	-	80	100	120	140	160	200
401-500	-	-	100	120	130	150	180	230
501-750	-	-	-	140	150	170	200	250
751-1000	-	-	-	-	180	200	230	280
1001-1250	-	-	-	-	200	230	250	300
1251-1500	-	-	-	-	-	250	280	330

Таблица 9

**Высота нижних вертикальных стержневых знаков  $h$ , мм**

D или (a+b)/2, мм	Длина стержня L, мм							
	до 50	51- 150	151- 300	301- 500	501- 750	751- 1000	1001- 1500	1501- 2000
до 25	20	25	-	-	-	-	-	-
25-50	20	40	60	70	-	-	-	-
51-100	25	35	50	70	100	120	-	-
101-200	30	30	40	60	90	110	160	200
201-300	35	35	40	50	80	100	150	190
301-400	40	40	40	50	70	90	140	180
401-500	40	40	40	50	60	80	130	170
501-750	50	50	50	50	60	70	120	160
751-1000	50	50	50	50	50	60	110	150
1001-1250	-	60	60	60	60	60	100	140

Таблица 10

**Соотношение высоты нижних (h) и верхних (h<sub>1</sub>) вертикальных знаков**

h, мм	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100	110	120
h <sub>1</sub> , мм	15	15	20	20	25	30	35	40	50	55	60	65	70

Продолжение табл. 10

h, мм	130	140	150	160	170	180	190	200
h <sub>1</sub> , мм	80	85	90	95	100	110	115	120

Таблица 11

**Уклоны стержневых знаков**

Высота знака h или h <sub>1</sub> , мм	Стержень			
	вертикальный		Горизонтальный	
	нижний	верхний	нижний	верхний
	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$
до 20	10 <sup>0</sup>	15 <sup>0</sup>	10 <sup>0</sup>	15 <sup>0</sup>
21-50	7 <sup>0</sup>	10 <sup>0</sup>	7 <sup>0</sup>	10 <sup>0</sup>
51-100	6 <sup>0</sup>	8 <sup>0</sup>	6 <sup>0</sup>	8 <sup>0</sup>
101-200	5 <sup>0</sup>	6 <sup>0</sup>	5 <sup>0</sup>	6 <sup>0</sup>
201-300	-	-	5 <sup>0</sup>	6 <sup>0</sup>
301-500	-	-	4 <sup>0</sup>	5 <sup>0</sup>
501-800	-	-	3 <sup>0</sup>	3 <sup>0</sup> 30'
более 800	-	-	2 <sup>0</sup> 30'	3 <sup>0</sup>

## **РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА №2**

### **«Разработка технологического процесса изготовления поковки свободной ковкой»**

Свободная ковка – это вид обработки металлов давлением, при котором заготовке, нагретой до температурыковки придается необходимая форма и размеры с помощью универсального инструмента, причем течение металла не ограничено в плоскости перпендикулярной действию силы.

В современном горном машиностроении горячая объемная обработка металлов давлением находит широкое применение. Свободной ковкой, горячей объемной штамповкой получают заготовки (поковки) для таких ответственных тяжело нагруженных деталей как шестерни, диски, зубчатые колеса, червяки, клапаны, крестовины, полуоси, валы редукторов и т.д. Такие детали работают в узлах комбайнов, экскаваторов, погрузочно-доставочных машин, буровых станков и других машин, испытывающих значительные динамические нагрузки.

Крупные ответственные поковки изготавливают свободной ковкой на молотах и прессах. В качестве основного ковочного оборудования используют прессы и молоты различных конструкций. Исходной заготовкой в этом случае являются кузнечные слитки или прокат больших сечений.

Гидравлические прессы – машины статического действия. Продолжительность деформации заготовки составляет от единиц до десятков секунд. Металл деформируется за счет усилий, создаваемых с помощью жидкости, подаваемой в рабочий цилиндр прессы. Эти машины предназначены преимущественно для крупных поволоков, изготавливаемых из слитков. Кроме того, на прессах рекомендуют ковать поковки из высоколегированных сталей.

Молоты – машины динамического, ударного действия. Продолжительность деформации на них составляет тысячные доли секунды. Металл деформируется за счет энергии, накопленной подвижными (падающими) частями молота к моменту их соударения с заготовкой.

Кузнечное производство весьма трудоемко. Повышение производительности труда во многом зависит от качества разработано технологии, которое определяется оптимальной конфигурацией поковки, выбором рационального типа заготовки, ковочного оборудования, способов нагрева и охлаждения, схемой технологического процесса деформирования (выбор и назначение операций, их количество и последовательность), а также оптимальной геометрией рабочей части ковочного инструмента (бойки, осадочные плиты и т.д.).

Цель работы – назначение припусков на механическую обработку, допусков и напусков. Выбор оптимальной исходной заготовки, расчет ее массы, обоснование режима нагрева и охлаждения. Определение последовательности технологических операций, позволяющих получить необходимую форму и размеры поковки.

Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Назначить по ГОСТ 7062-90 припуски, допуски и напуски.
2. Вычертить эскиз поковки.
3. Определить массу поковки.
4. Определить массу заготовки (слитка или проката).
5. Выбрать тип и размеры кузнечного слитка, если исходной заготовкой является слиток. Рассчитать размеры заготовки, если заготовкой является прокат.
6. Составить график нагрева заготовки и охлаждения поковки, рассчитать продолжительность нагрева, выбрать режим охлаждения.
7. Определить и изобразить основные, вспомогательные и отделочные операции для получения заданной поковки в последовательности их выполнения.
8. Составить отчет по лабораторной работе, в который включить все ранее перечисленные пункты.

### **1. Разработка эскиза поковки**

Поковкой называется ковая заготовка преимущественно простой конфигурации, полученная свободной ковкой на молоте или прессе.

Поковка отличается от готовой детали большими размерами, менее жесткими допусками на размеры, наличием напусков в тех случаях, когда заданную конфигурацию после назначения припусков выполнить на имеющемся ковочном оборудовании и с помощью стандартных инструментов и приспособлений невозможно или экономически нецелесообразно.

Припуском  $\delta$  называется предусмотренное ГОСТ превышение размеров поковок по сравнению с номинальными размерами готовой детали, обеспечивающее после обработки резанием требуемые конфигурацию, размеры и качество поверхности.

Допуск  $\pm \Delta/2$  - это предельное отклонение действительного размера от номинального, при котором изделие признается годным к эксплуатации.

Напуском называется увеличение припуска (сверх выбранного по ГОСТ) с целью упрощения конфигурации поковки из-за невозможности или нерентабельности ее изготовления по контуру готовой детали.

Для ступенчатых валов различают основной  $\delta$  и дополнительный  $\delta'$  припуски. Дополнительный припуск назначается на диаметры всех ступеней поковки, кроме базовой и служит для компенсации их возможного радиального смещения относительно друг друга (несоосности). В качестве базовой ступени следует принимать ступень с необрабатываемой поверхностью, а при отсутствии таковой – ступень с наибольшим диаметром.

Разработку эскиза поковки рассмотрим на примере ступенчатого вала (рисунок 1).

По классификации, представленной в ГОСТ 7062-90 эта поковка круглого сечения с уступами. Припуски и допуски следует назначать, используя выдержки из ГОСТа, представленные в таблицах 1 и 2.

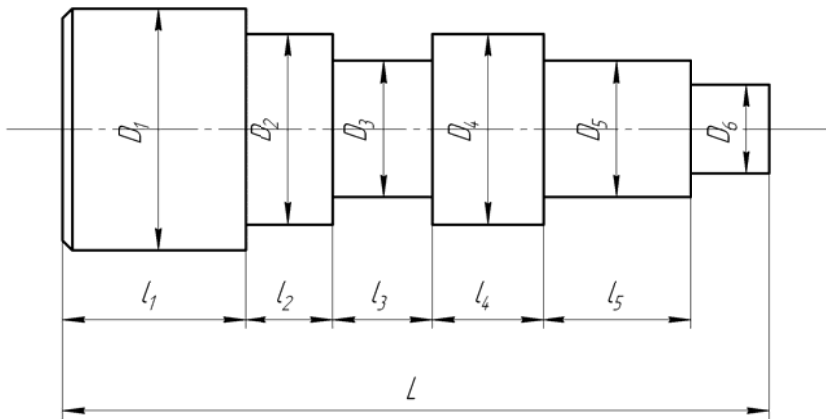
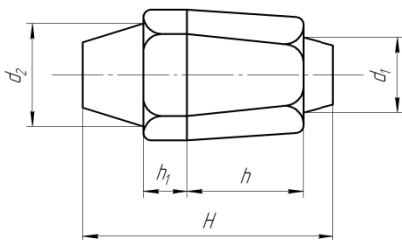
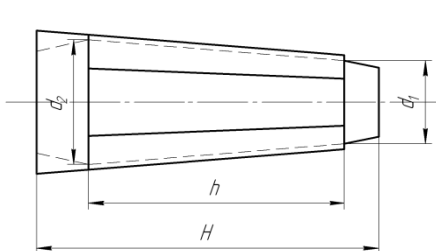


Рис. 1. Эскиз детали

Если необходимо упрощение формы поковки, например, уменьшение количества ступеней, то сначала следует назначить напуски, а сверх них - припуски. Эскиз детали с напусками, основными и дополнительными припусками представлен на рисунке 3.



а) обычный слиток



б) удлиненный слиток

Рис. 2. Кузнечные слитки

Таблица 1

**Припуски на механическую обработку и предельные отклонения размеров поковок, мм**

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

Таблица 2

**Дополнительный припуск  $\delta'$ , мм**

Разность диаметров (размеров) наибольшего и рассматриваемого сечений	До 40	40-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180	Св. 180
	Дополнительный припуск	3	4	5	6	7	8	9

Назначая припуски и допуски, следует составить расчетные выражения.

В данном случае  $D_4' = D_2'$ . Напуск на диаметры  $D_3$  и  $D_6$  необходим, так как он упрощает форму поковки и дает возможность ее отковать из кузнечных слитков (рисунок 2).

Поковочные размеры для диаметров  $D_1$ ,  $D_2$  и  $D_5$  можно определить составив расчетные выражения:

$$D_1' = (D_1 + \delta_1 + \delta_1') \pm \frac{\Delta_1}{2};$$

$$D_2' = (D_2 + \delta_2) \pm \frac{\Delta_2}{2};$$

$$D_5' = (D_5 + \delta_5 + \delta_5') \pm \frac{\Delta_5}{2}.$$



В качестве основного диаметра в нашем случае выбран диаметр  $D_2 = D_4$ .

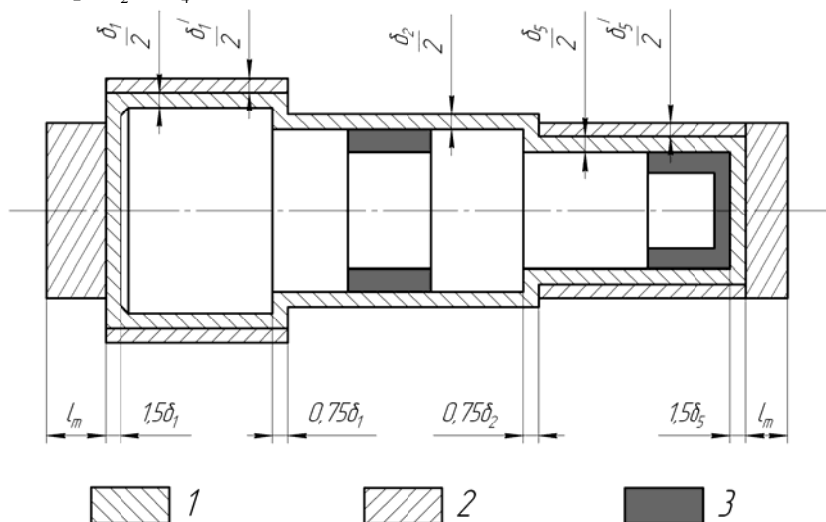


Рис. 3. Эскиз детали с основными (1), дополнительными (2) припусками и напусками (3)

Припуски и допуски на длины определяются следующим образом. На обрубаемые ступени припуск на длину (на сторону обработки) принимается равным 1,5 припускам на диаметр рассматриваемой ступени. На остальные ступени припуск на длину на сторону обработки принимается равным 0,75 от припуска на рассматриваемый диаметр. Отклонение на длину принимается равным трем отклонениям на диаметр.

Поковочные размеры на длины:

$$l'_1 = l_1 + 2,25\delta_1 \pm \frac{3\Delta_1}{2};$$

$$l'_2 = l_2 + l_3 + l_4 + 0,75\delta_2 - 0,75\delta_1 \pm \frac{3\Delta_2}{2};$$

$$L' = L + 2l_m + 1,5\delta_1 - 1,5\delta_5 \pm \frac{3\Delta_5}{2}.$$

Длина технологических проб  $l_m$  и их количество задаются техническими условиями.

Эскиз поковки ступенчатого вала представлен на рисунке 4. На эскизе поковки над размерными линиями указываются размеры готовой поковки с допусками, а под размерной линией в скобках указывают размер готовой детали или детали после предварительной механической обработки.

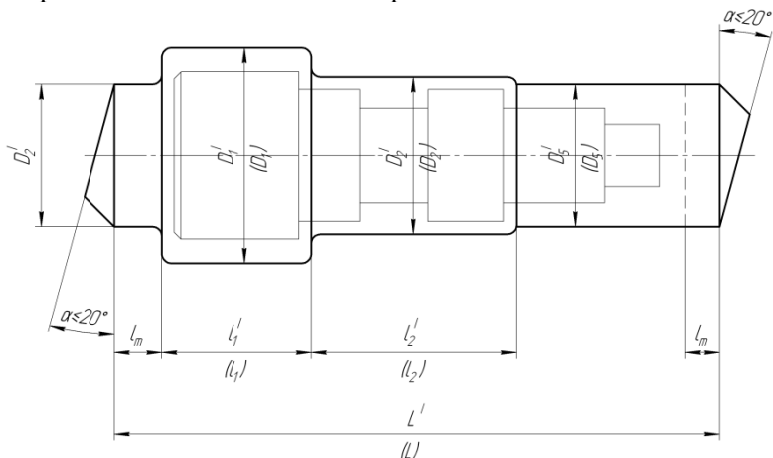


Рис. 4. Эскиз поковки ступенчатого вала

После разработки эскиза поковки определяется объем и масса поковки. Объем поковки:

$$V = \sum_{i=1}^n V_i, \quad V_i = \frac{\pi}{4} (D_i')^2 l_i',$$

где  $V_i$  – объем каждой ступени вала;  $D_i'$  – диаметр рассматриваемой ступени (поковочный размер);  $l_i'$  – длина рассматриваемой ступени (поковочный размер).

Расчетная масса поковки:

$$M_p = V\gamma,$$

где  $\gamma$  – плотность стали.

Окончательная масса поковки (с учетом массы галтелей, скосов, допусков):

$$M_{пок} = (1,02 \div 1,03) M_p.$$

## 2. Определение массы и размеров исходной заготовки

Исходной заготовкой при ковке средних и крупных поковок на прессах являются кузнечные слитки. Слитки подразделяются по назначению на кузнечные, прокатные и специальные, по конструкции на сплошные и полые, по конфигурации на укороченные, нормальные и удлиненные, по форме поперечного сечения на круглые, квадратные, прямоугольные, восьмигранные и многогранные (12 граней и более).

У укороченного слитка соотношение высоты тела слитка  $H$  к его среднему диаметру  $D$  равно 0,8-1,2. У нормальных слитков  $H/D = 1,2 \div 2,5$ . У удлиненных слитков  $H/D = 3,3 \div 6,6$ .

Наибольшее распространение в кузнечно-прессовых цехах получили нормальные и удлиненные слитки с восьмигранным поперечным сечением. Масса таких слитков колеблется от 1,0 до 350 т. Сортамент и характеристики нормальных и удлиненных слитков приведены в таблицах 1 и 2.

Слиток состоит из трех основных частей. Масса донной части обозначается  $M_{дон}$ , масса тела слитка  $M_T$ , масса прибыльной части  $M_{пр}$ . Для нормальных слитков  $M_{дон} = 5 \div 7\%$  и  $M_{пр} = 20 \div 25\%$  от массы всего слитка, для удлиненных слитков  $M_{дон} = 2 \div 3\%$  и  $M_{пр} = 10 \div 12\%$ .

Масса слитка, необходимого для изготовления поковки:

$$M_{сл} = M_{пок} + M_{уг} + M_{отх} + M_{дон} + M_{пр},$$

где  $M_{уг}$  – масса металла на угар (окалину) при нагреве;  $M_{отх}$  – масса технологических отходов.

Отход металла на угар при нагреве слитков и заготовок в печах, работающих на жидком и газообразном топливе, составляет примерно 2% от массы поковки за первый нагрев (вынос) и 1,5% за каждый последующий нагрев, т.е.

$$M_{уг} = (0,02 + 0,015m)M_{пок},$$

где  $m$  – число подогревов в соответствии с выбранным технологическим процессом). В электропечах отход металла на угар составляет примерно 1,0% за каждый вынос.

В технологические отходы входят концевые обрубки (излишки металла, отрубаемые от концевых ступеней поковки), обсечки, получаемые при разрубке заготовок, выдра (металл, удаляемый из заготовки при образовании в ней отверстия) и т.д. Масса технологических отходов зависит от конфигурации и размеров поковки, формы и размеров слитка и других факторов и определяется индивидуально для каждого технологического процесса.

Обычно масса обсечек  $M_{об}$  составляет  $0 \div 5\%$ , масса выдры  $M_g = 8 \div 12\%$ . При ковке сплошных поковок масса выдры равна нулю, и в массу отходов входит только масса обсечек, которую определяют по специальным номограммам. Ориентировочно массу обсечек при ковке на прессах можно определить по следующим зависимостям:

при рубке поковок круглого сечения диаметром  $D$

$$M_{об} = \rho \cdot 0,21D^3,$$

при рубке поковок прямоугольного сечения с размерами  $B \times H$

$$M_{об} = \rho \cdot 0,28B^2H.$$

Зная что масса тела слитка  $M_T \geq M_{пок} + M_{yz} + M_{омх}$  выбираем по таблице 3 или 4 массу исходного слитка.

При выборе кузнечного слитка следует сначала попытаться подобрать удлиненный слиток, так как от имеет меньше отходов в виде прибыльной и донной части, а значит у него больше «выход годного».

В случае, если для изготовления поковки не нашлось подходящего слитка, то необходимо из одного слитка ковать несколько поковок. Для этого количество поковок увеличивают до тех пор, пока не удастся подобрать оптимальный по массе слиток.

Затем определяется разность  $M_T - (M_{пок} + M_{yz} + M_{омх})$ .

Каждая половина этой разности прибавляется к массе донной и прибыльной частей слитка. Делается это для того, чтобы учесть потери металла при отрубке от поковки прибыли и низа слитка. Если эта разность больше 100-150 кг, то получающие излишки металла необходимо использовать для изготовления годного

остатка, который в дальнейшем может быть применен в качестве исходной заготовки дляковки мелких поковок.

После выбора кузнечного слитка необходима его проверка по величине укова:

$$k = \frac{F_{нач}}{F_{кон}} = \frac{D_{cp}^2}{d^2} > 1,$$

где  $F_{нач}$  – площадь поперечного сечения до протяжки, при ковке из слитка – среднее его сечение;  $F_{кон}$  – площадь поперечного сечения после протяжки;  $D_{cp}$  – средний диаметр тела слитка;  $d$  – диаметр поковки.

Величина укова во многом зависит от структурного строения стали: для углеродистых, низко- и среднелегированных конструкционных и инструментальных сталей  $k = 2 \div 3\%$  (меньшее значение коэффициента принимают для удлиненных слитков); для высоколегированных и специальных сталей и сплавов  $k \geq 3$ .

Если получившейся в результате расчета величины  $k$  недостаточно, то ее можно увеличить, выбрав больший по сечению слиток или введя в технологический процесс промежуточную дополнительную операцию осадки заготовки.

Для полых заготовок типа втулок, колец и т.п. величина укова не подсчитывается, так как в технологическом процессе их изготовления операция осадки обязательна.

Затем составляется баланс металла кузнечного слитка:

	Масса, кг	Масса, %
Прибыльная часть		
Донная часть		
Угар		
Технологические отходы		
Годный остаток		
Поковка		
Слиток		100

Таблица 3

## Основные параметры обычных кузнечных слитков (номенклатура НЗЛ)

Шифр изложницы	Масса слитка, кг	Основные размеры слитка, мм						Масса тела слитка		Масса прибыли		Масса низа		Конусность тела, %	Конусность прибыли, %
		$d_1$	$d_2$	$d_{cp}$	$h$	$h_1$	$H$	кг	Выход годового, %	кг	Выход годового, %	кг	Выход годового, %		
ПИ-3,5	3750	590	700	645	1060	-	1705	2955	78,8	676	18,0	120	3,2	10,4	20,0
ПИ-4,5	4680	640	760	700	1115	-	1770	3690	78,8	842	18,0	148	3,2	10,4	22,0
ПИ-5,0	5200	660	780	720	1170	-	1795	4110	79,1	936	18,0	164	2,9	10,8	23,0
ПИ6-7	6000	725	850	787	1170	-	1915	4703	78,4	1080	18,0	217	3,6	10,7	15,0
	7500	725	850	787	1170	264	2225	5933	79,1	1350	18,0	217	2,9	10,7	15,0
ПИ8-10	8000	815	950	882	1255	-	2050	6270	78,4	1440	18,0	290	3,6	10,7	17,0
	10500	815	950	882	1255	352	2595	8320	79,2	1890	18,0	290	2,8	10,7	17,0
ПИ12-15	12000	915	1076	995	1480	-	2465	9405	78,4	2160	18,0	435	3,6	10,9	17,0
	15000	915	1076	995	1480	340	3005	11865	79,1	2270	18,0	435	2,9	10,9	17,0
ПИ16-20	16000	1020	1190	1105	1600	-	2575	12540	78,4	2880	18,0	580	3,6	10,6	18,0
	20000	1020	1190	1105	1600	360	3120	15820	79,1	3600	18,0	580	2,9	10,6	18,0
	21600	1020	1190	1105	1600	510	3345	17100	79,3	3920	18,0	580	2,7	10,6	20,0

Таблица 4

## Основные параметры удлиненных кузнечных слитков (номенклатура НЗЛ)

Шифр изложницы	Масса слитка, кг	Основные размеры слитка, мм					Масса тела слитка		Масса прибыли		Масса низа		Конусность тела, %	Конусность прибыли, %
		$d_1$	$d_2$	$d_{cp}$	$h$	$H$	кг	Выход годового, %	кг	Выход годового, %	кг	Выход годового, %		
К-1,16	1160	325	400	362	1200	1560	986	83,5	163	14,0	29	2,5	6,25	6,25
К-1,62	1620	360	445	402	1350	1740	1345	83,6	235	14,0	40	2,4	6,29	6,29
К-2,12	2120	390	484	437	1500	1905	1770	84,0	307	14,0	43	2,0	6,26	6,26
К-2,7	2700	430	530	480	1570	1965	2255	83,5	378	14,0	67	2,5	6,20	6,20
К-3,55	3550	470	580	525	1750	2220	2951	83,6	494	14,0	85	2,4	6,29	6,29
К-4,6	4600	515	635	575	1860	2360	3840	83,5	645	14,0	115	2,5	6,25	6,25
К-5,9	5900	550	690	620	2100	2645	4920	83,4	826	14,0	154	2,6	6,70	6,70
П-7,5	7500	578	760	669	2240	2920	6260	83,5	1050	14,0	190	2,5	8,00	30,0
П-8,75	8750	608	790	699	2400	3120	7300	83,5	1230	14,0	220	2,5	7,50	30,0
П-11,0	11000	678	860	769	2460	3270	9075	82,5	1650	15,0	275	2,5	7,30	31,0

### **3. Режим нагрева и охлаждения**

Для нагрева слитков и заготовок перед ковкой служат кузнечные мазутные или газовые печи, которые по способу нагрева подразделяются на камерные и методические.

Методические печи имеют переменную по зонам нагрева температуру (две и более зон) и обеспечивают качественный нагрев. Однако такие печи применяются только для нагрева заготовок из проката или мелких кузнечных и прокатных слитков.

Наибольшее распространение в кузнечно-прессовых цехах при изготовлении средних и крупных поковок получили камерные печи со стационарным и подвижным подом. Камерные печи имеют постоянную температуру рабочего пространства, но отличаются значительной неравномерностью ее распределения. Большим недостатком камерных печей (несмотря на простоту их конструкции) являются огромные потери тепла, возникающие при открывании крышки для посадки или выгрузки слитков или заготовок. Особо большие потери тепла происходят при выкатывании подины в печах с выдвижным подом.

График горячей обработки слитка до момента получения заданной по чертежу поковки состоит из нескольких этапов (рисунок 5): 1 – нагрев заготовки до критической температуры; 2 – выдержка; 3 – нагрев до температурыковки с максимально возможной скоростью; 4 – выдержка; 5 – ковка; 6 – охлаждение поковки. Если ковка куется за несколько нагревов (выносов), то этапы 3, 4 и 5 повторяются на графике соответствующее количество раз.

Если слитки привозят к ковочному прессу нагретыми до температуры 650-700 °С (из сталеплавильного цеха или нагревательных печей предварительного нагрева), этапы 1 и 2 исключаются из графика.

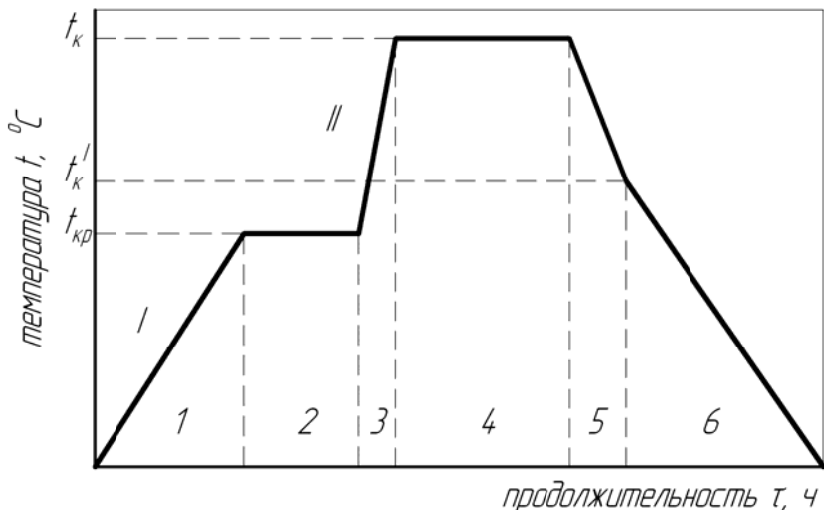


Рис. 5. График нагрева заготовки и охлаждения поковки

Критическая температура  $t_{kp}$  – это температура структурных превращений в стали  $A_{C1}$ .

Ковочная температура  $t_k$  – это температура нагрева слитка (или заготовки) перед ковкой. Превышение  $t_k$  может привести к перегреву, сопровождающемуся ростом зерен. Это брак, исправляемый термической обработкой. Нагрев до более высокой температуры может привести к окончательному браку, называемому пережогом (оплавление границ зерен).

Температура  $t'_k$  – это температура окончанияковки. Ниже этой температуры металл плохо деформируется, так как его пластические характеристики снижаются. Ковка при температуре ниже  $t'_k$  сопровождается упрочнением (наклепом) и появлением трещин.

Величины температур  $t_k$  и  $t'_k$  зависят от химического состава обрабатываемой стали. Температурный интервалковки выбирается по таблице 5.

При нагреве до ковочной температуры особое внимание следует обратить на два основных периода (рисунок 5).



I – нагрев до  $t_{кр}$ , который осуществляется с минимальной скоростью из-за низкой теплопроводности и малой пластичности холодной стали. Большая скорость нагрева может привести к трещинам в теле слитка (внутри заготовки).

II – нагрев до  $t_k$ , который производится с максимальной возможной для данного нагревательного устройства скоростью.

Общее время нагрева (до  $t_k$ ) складывается из времени нагрева первого  $\tau_1$  и второго  $\tau_2$  периодов. Для углеродистых и низколегированных сталей  $\tau_1 = \tau_2 = 5D\sqrt{D}$ , где  $D$  – наименьший диаметр или меньшая сторона сечения слитка или заготовки, м. Для средне- и высоколегированных сталей  $\tau_1 = 13,3D\sqrt{D}$ ;  $\tau_2 = 6,7D\sqrt{D}$ , т.е.  $\tau_1 = 2\tau_2$ .

Продолжительность выдержек при критической и ковочной температурах принимаются в пределах  $\tau_1 + \tau_2$  в зависимости от нагреваемой стали. Наличие выдержек при температурах  $t_{кр}$  и  $t_k$  вызвано необходимостью выравнивания разности температур по сечению слитка или заготовки. Эта разница температур всегда возникает при нагреве стали из-за ее ограниченной теплопроводности. Чем больше сечение нагреваемой заготовки, тем продолжительнее должна быть выдержка.

Важное значение для получения высококачественных поковок имеет правильный выбор режима их охлаждения. Чрезвычайно высокие термические напряжения, возникающие в поковке при неправильном охлаждении, могут привести к появлению трещин.

В зависимости от химического состава стали и размеров сечения, поковки охлаждаются на воздухе, в колодцах, в колодцах с подогревом и в термических печах. Режим охлаждения поковки следует определять по таблице 6.

Таблица 5

## Температурные интервалыковки

Марка стали	$A_{c1}, ^\circ\text{C}$	$t_k, ^\circ\text{C}$	$t'_k, ^\circ\text{C}$
Углеродистые стали			
Ст. 2, 3, 4, 10, 15, 20, 25, 30, 35	730-735	1280	750
40, 45, 50	725-730	1250	780
55, 60	727	1220	800
65, 70, 75	727-730	1200	800
У7А, У8А, У9А, У10А, У12А	727-730	1150	800
Низколегированные стали			
15Х, 20Х, 20Г, 12ХМ, 15ХМ	735	1260	800
35Х, 40Х, 45Х	720-740	1240	800
30Г, 40Г, 50Г, 50Х, 20ХФ, 20ХМА, 30ХМА, 34ХМ, 35ХМ, 40ХМ, 40ХН, 40ХФА, 50ХГ, 60ХГ	735-745	1220	800
65Г, 50С2, 55С2, 60С2, 38ХС, 50ХФ, 50ХН, 60ХН, 75ХМ	735-745	1200	800
Среднелегированные стали			
12Х1МФ, 15Х1М1Ф, 20ХГС, 38ХЮА, 25Х1М1Ф, 34ХН1М, ЭИ415	715-800	1240	800
12ХН2, 12ХН3, 20ХН3А, 18ХГТ, 25Х2М1Ф, 40ХНМА	715-800	1220	800
30ХГС, 30ХНВ, 35ХГС, 38ХГН	715-800	1200	800
5ХНВ, 5ХНМ, 5ХГМ, 5ХГС, 5ХНТ, 5ХНМ2, 6ХНМ	715-800	1200	800
7Х3, 8Х3, 9Х, 9Х2, 9ХФ, 9ХС	715-800	1180	800
Высоколегированные стали			
20Х3МВФ, 34ХН3М	750-900	1240	800
12Х2Н4А, 18Х2Н4ВА, 1Х13, 2Х13, 3Х13	750-900	1220	850
15Х11МФ, ЭИ268, ЭИ802	750-900	1220	900
35ХН1М2Ф, 35ХН3МФА, 36ХН1МФ, 38ХН3МФА, 38Х2Н3М, 45ХНФА	750-900	1200	800
Х18Н9Т, Х18Н10Т, Х18Н12М2Т, ЭИ572	750-900	1200	950

Таблица 6

**Режим охлаждения поковок послековки**

Марка стали	Диаметр или меньшая сторона сечения поковки, мм						
	До 100	101-200	201-300	301-400	401-500	501-600	Св. 600
Ст.2,3,4							
10, 15, 20, 25							
30, 35							
40, 45							
50, 55, 60							
65, 70, 75							
У7А, У8А							
У9А, У10А, У12А							
15Х, 20Х, 20Г							
12ХМ, 15ХМ, 20ХФ, 20ХМА, 35Х							
40Х, 45Х, 50Х							
30Г, 40Г, 50Г							
30ХМА, 34ХМ, 35ХМ							
38ХС, 40ХМ, 40ХФ, 50ХФ, 50ХГ							
60ХН, 60ХГ, 75ХМ							
65Г, 50С2, 55С2, 60С2							
12Х1МФ, 15Х1М1Ф, 20ХГС							
25Х1М1Ф, 38ХЮА, 34ХН1М							
12ХН2, 12ХН3							
18ХГТ, 20ХН3А, 30ХН3А							
30ХНВ, 35ХГС, 38ХГН, 40ХНМА							
5ХНВ, 5ХНМ, 5ХНТ, 5ХГМ, 5ХГС, 5ХНМ2, 6ХНМ							
7Х3, 8Х3, 9Х, 9Х2, 9ХФ, 9ХС							
12Х2Н4А, 18Х2Н4ВА, 20Х3МВФ							
1Х13, 2Х13, 3Х13							
15Х11МФ, ЭИ268, ЭИ802							
34ХН3М, 35ХН1М2Ф, 35ХН3МФА, 36ХН1МФ, 38ХН3МФА, 38Х2Н3М, 45ХНФА							
Х18Н9Т, Х18Н10Т, Х18Н12М2Т							
	Охлаждение на воздухе						
	Охлаждение в колоде						
	Охлаждение в термической печи						
	Поковки не применяются						

#### **4. Определение последовательности кузнечных операций**

При разработке последовательности кузнечных операций необходимо определить количество и очередность основных, вспомогательных и отделочных операций, выбрать кузнечный инструмент, необходимый для выполнения операций.

Основные технологические операции – это операции, связанные с изменением формы и размеров слитка или промежуточной заготовки, с целью получения поковки соответствующей требованиям чертежа. К основным операциям относятся протяжка (вытяжка), осадка, прошивка глухих или сквозных отверстий, рубка, вытяжка на оправке, раскатка на оправке, гибка, разгонка и т.д.

Вспомогательные операции – это операции, связанные с подготовкой слитка или промежуточной заготовки для выполнения последующих основных операций. К ним относятся заделка цапфы, биллетирование слитка, разметка заготовки, правка, клеймение.

Отделочные операции – это операции, связанные с получением требуемого по чертежу качества поверхности поковки. Основные отделочные операции: проглаживание, торцовка, обкатка сферы.

Выбор операций определяется конфигурацией и соотношением размеров поковки, величиной укова, техническими условиями на ее изготовление.

Большое значение для успешного выполнения операцийковки имеет конструкция, профиль рабочей части и размеры кузнечного инструмента.

Применяемый в свободной ковке инструмент по назначению может быть объединен в три группы: основной технологический, поддерживающий переносной, мерительный.

Основной технологический инструмент включает технологическую оснастку (верхние и нижние ковочные, правильные, гибочные и разгоночные бойки, осадочные плиты, кольца, оправки и т.д.) и подкладной инструмент (раскатки, угольники, топоры, прошивки, пуансоны и т.п.).

Поддерживающий переносной инструмент – клещи, патроны, цепи, кантователи. Мерительный инструмент – линейки,

кронциркули, скобы, и т.д., т.е. такой инструмент, с помощью которого контролируются геометрические размеры поковок как в процессековки, так и по ее окончании.

Таблица 7

**Основные кузнечные операции**

Наименование операции	Эскиз операции	Применяемый инструмент	Назначение операции
Протяжка (вытяжка) слитка на диаметр $D$		Бойки: верхний – плоский; нижний – вырезной	Получение ступеней с круглым или прямоугольным сечением за счет
Протяжка (вытяжка) заготовки на размер $A \times B$		Бойки: верхний – плоский; нижний – плоский	уменьшения размеров исходного сечения и увеличения длины
Осадка слитка на кольце на высоту $H$ или до диаметра $D$		Осадочная плита; осадочное кольцо	Уменьшение высоты за счет увеличения площади поперечного сечения
Осадка заготовки на высоту $h$ или до диаметра $D$		Осадочная плита; осадочный стол	Уменьшение высоты за счет увеличения площади поперечного сечения
Прошивка сквозного отверстия диаметром $d$		Боек верхний плоский, прошивень, осадочное кольцо	Получение сквозного отверстия круглой или прямоугольной формы

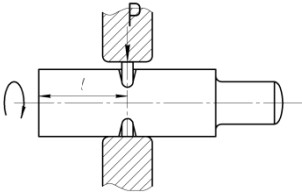
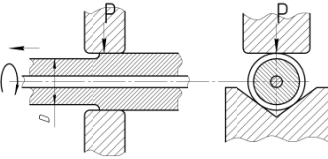
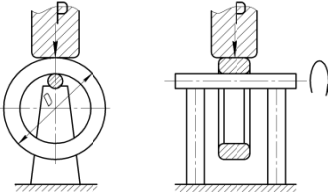
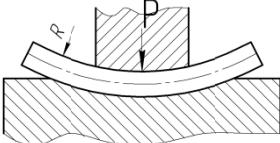
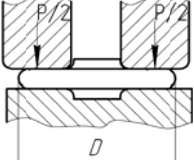
Наименование операции	Эскиз операции	Применяемый инструмент	Назначение операции
Рубка слитка (или заготовки)		Бойки: верхний – плоский; нижний – вырезной (или плоский топор)	Разделение заготовки на части или отделение дефектных частей (прибыль, дно)
Вытяжка заготовки на оправке на диаметр $D$		Бойки: верхний – плоский, нижний – вырезной, оправка	Увеличение длины заготовки за счет уменьшения ее поперечного сечения
Раскатка заготовки на оправке на диаметр $D$		Верхний плоский боек, оправка, специальные стойки	Увеличение диаметра полой заготовки за счет уменьшения толщины стенки
Гибка заготовки на радиус $R$		Боек верхний – специальный радиусный, нижняя специальная плита	Изгиб заготовки по заданному контуру
Разгонка полотна заготовки на диаметр $D$		Верхние бойки специальные раздвижные, поворотный стол	Увеличение диаметра заготовки за счет уменьшения ее высоты

Таблица 8

## Вспомогательные кузнечные операции

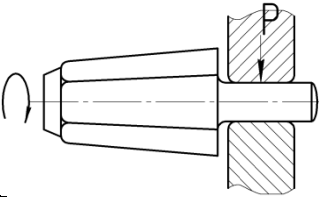
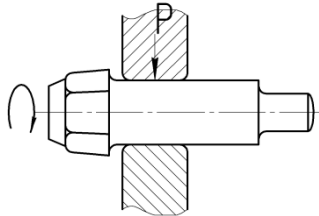
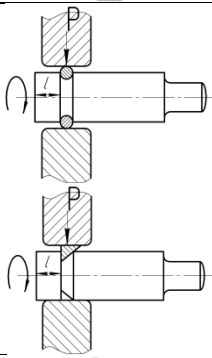
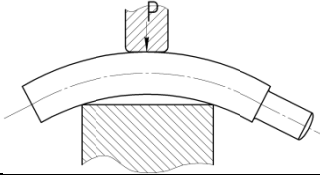
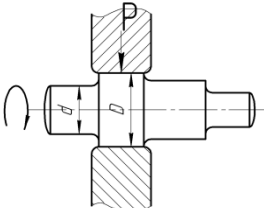
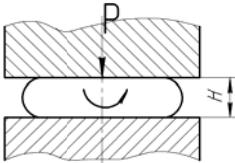
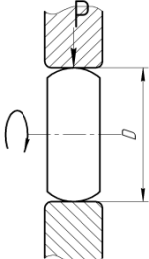
Наименование операции	Эскиз операции	Применяемый инструмент	Назначение операции
Заделка цапфы под патрон или под осадочную плиту		Бойки: верхний – плоский, нижний – вырезной	Для удобства проведения последующей протяжки или осадки
Билетирование слитка		Бойки: верхний – плоский, нижний – вырезной	Скругление граней слитка
Разметка заготовки с круглым или прямоугольным поперечным сечением		Бойки: верхний – плоский, нижний – вырезной (или плоский); раскатка, пережимка	Распределение металла на необходимые объемы и уменьшение утяжки
Правка поковки		Верхний плоский боек, нижняя плоская осадочная плита (или стол)	Устранение кривизны или несоосности ступеней поковки

Таблица 9

## Отделочные кузнечные операции

Наименование операции	Эскиз операции	Применяемый инструмент	Назначение операции
Проглаживание (отделка) поковки или отдельных ее частей		Бойки: верхний – плоский, нижний – плоский или вырезной	Получение заданных по чертежу размеров и внешнего вида
Торцовка поковки		Верхний плоский боек; нижняя плоская осадочная плита (или стол)	Получение заданной высоты и внешнего вида торцевых поверхностей
Обкатка поковки по боковой поверхности		Бойки: верхний – плоский, нижний – вырезной или плоский (специальные)	Устранение сферической боковой поверхности (бочкообразности) до получения заданного диаметра



## **РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА №3**

### **«Разработка технологического процесса горячей объемной штамповки»**

Горячая объемная штамповка – это способ обработки металлов давлением, при котором объем металла нагретый до температурыковки принудительно распределяется по полости штампа с целью получения изделия определенной конфигурации.

Данный способ заготовительного производства позволяет получать заготовки (штампованные поковки) сложной конфигурации с незначительными припусками на механическую обработку и заранее заданными механическими свойствами.

Цель работы: ознакомление с основными этапами проектирования технологического процесса горячей объемной штамповки.

Перед выполнением работы следует получить чертеж детали у преподавателя и следующие данные: способ штамповки, тип оборудования, точность изготовления, группа стали.

Порядок выполнения работы:

1. выполнить эскиз детали;
2. рассчитать массу детали;
3. определить степень сложности поковки;
4. определить припуски на механическую обработку и напуски, если это необходимо, а также штамповочные уклоны и радиусы переходов, определить величины смещения и заусенца;
5. разработать и выполнить эскиз поковки;
6. рассчитать массу и размеры исходной заготовки;
7. определить температуру и время нагрева исходной заготовки;
8. определить последовательность технологических переходов при штамповке, разработать и выполнить эскиз финишного ручья штампа;
9. выполнить эскиз штампа с разрезом по чистовому ручью.

## 1. Разновидности штамповки

В зависимости от применяемого деформирующего оборудования горячая объемная штамповка может осуществляться на штамповочных молотах, кривошипных, гидравлических и фрикционных прессах, горизонтально-ковочных машинах. Существует ГОСТ 7505-89, регламентирующий порядок конструирования штампованных поковок.

В зависимости от типа штампа, его особенностей штамповка подразделяется на штамповку в открытых (с заусенцем) и закрытых штампах и штамповку выдавливанием.

Штамповка в открытых штампах сопровождается образованием необходимого заусенца (облоя). При этом масса исходной заготовки больше массы получаемой в полости штампа поковки на величину заусенца, который образуется на самой последней стадии штамповки (рисунок 1).

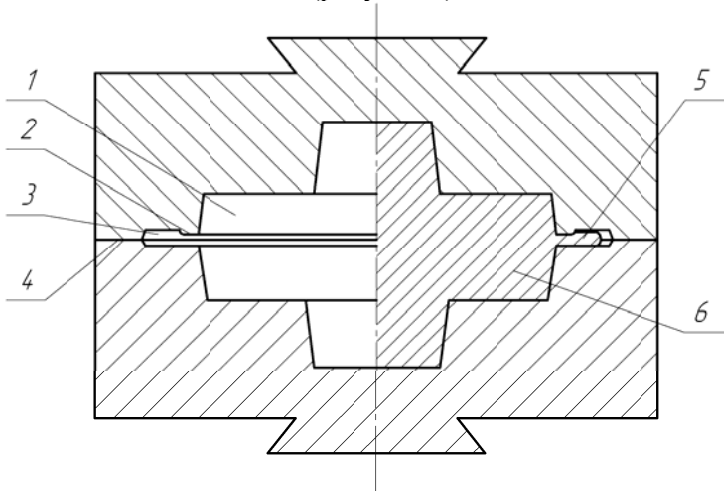


Рис. 1. Схема штамповки в открытом штампе

1 – полость (ручей); 2 – мостик; 3 – накопитель (магазин); 4 – плоскость разреза;  
5 – заусенец; 6 – поковка.

После штамповки заусенец обрезается в специальном обрезном ручье штампа. Открытые штампы имеют следующие преимущества: не нужна точная дозировка металла исходной заготовки, можно применять обычный нагрев, можно получать

поковки сложной конфигурации, относительно большой ресурс штампа (по сравнению со штамповкой в закрытом штампе). К недостаткам способа можно отнести большой отход металла на заусенец, большие припуски на механическую обработку.

Штамповка в закрытых штампах не предусматривает образования специального заусенца. Образующийся небольшой заусенец, затекающий в компенсатор штампа, является следствием неточной дозировки исходного металла (рисунок 2).

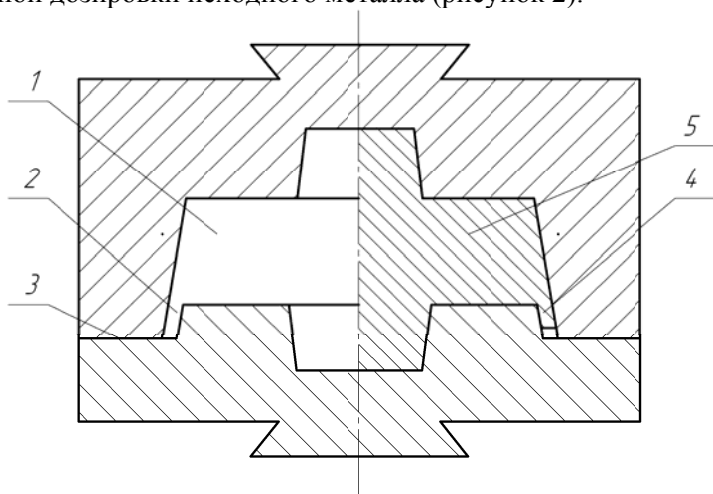


Рис. 2. Схема штамповки в закрытом штампе

1 – полость (ручей); 2 – зазор (компенсатор); 3 – плоскость разреза; 4 – заусенец;  
5 – поковка.

Необходимость точной дозировки металла сдерживает широкое промышленное использование данного метода штамповки. Однако несомненным его преимуществом является экономия металла. Именно поэтому данный способ штамповки нередко называют точной безотходной штамповкой.

Форма поковки может быть простой и сложной. Поковки простой формы даже из предварительной заготовки (проката круглого или квадратного сечений) можно получить в одной полости (ручье) штампа. Такая штамповка носит название одноручьевой. Если форма заготовки значительно отличается от конфигурации поковки, то требуется последовательно приближать конфигурацию в специальных, дополнительных полостях (ручьях)

штампа. В этом случае штамповка будет называться многоручьевой. Многоручьевая штамповка менее эффективна, поэтому для повышения производительности и снижения стоимости изготовления сложных поковок применяют предварительное фасонирование заготовки, например, на горизонтально-ковочных машинах, ковочных вальцах и т.д.

## 2. Разработка чертежа поковки

Поковки классифицируются по следующим признакам:

- 1) точность изготовления: I класс – повышенная; II класс – нормальная;
- 2) группа стали: M1 – углеродистая сталь, легированная сталь с содержанием углерода 0,45% и легирующих элементов 2%; M2 – легированная сталь, кроме стали указанной в группе M1;
- 3) степень сложности поковки: C1, C2, C3, C4;
- 4) Конфигурация поверхности разъема штампа: П – плоская; И – изогнутая.

Класс точности зависит от условий и характера производства (серийное или массовое), а также от требований к точности размеров поковок, указываемых на чертеже поковки.

Конфигурация поверхности разъема штампа определяется формой поковки, способом и условиями штамповки. Плоская поверхность разъема предпочтительнее изогнутой, так как в последнем случае возникают усилия, сдвигающие верхнюю половину штампа относительно нижней.

Степень сложности поковки представляет собой отношение массы поковки к массе фигуры, в которую вписывается данная поковка. Фигура может быть цилиндром или параллелепипедом. Например, степень сложности изображенной поковки (рисунок 3):

$$C = \frac{M_{\text{пок}}}{M_{\text{ф}}} = \frac{V_{\text{пок}}}{V_{\text{ф}}} = \frac{2 \frac{\pi d^2}{4} l + \frac{\pi D^2}{4} (L - 2l)}{\frac{\pi D^2}{4} l},$$

где  $M_{пок}$  и  $V_{пок}$  – масса и объем поковки соответственно;  $M_{пок}$  и  $V_{пок}$  – масса и объем фигуры (цилиндра), описанной вокруг поковки.

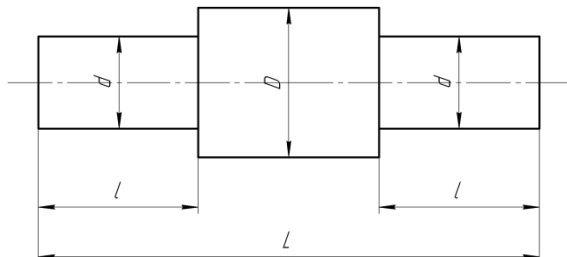


Рис. 3. Схема определения степени сложности поковки

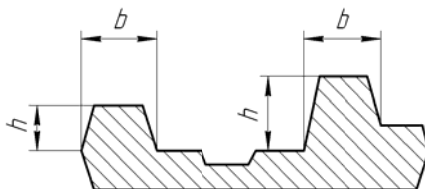


Рис. 4. Схема определения дополнительного критерия оценки сложности поковки

В зависимости от величины  $C$  поковке присваивается соответствующая степень сложности.

Для поковок, штампуемых на прессах и молотах, дополнительным критерием является размер выступов (рисунок 4).

Таблица 1

Степени сложности поковок

Степень сложности	Первая	Вторая	Третья	Четвертая
Обозначение	$C1$	$C2$	$C3$	$C4$
$C$	0,63-1,0	0,32-0,63	0,16-0,32	<0,16
Высота выступа $h$	$\leq 0,3b$	$\leq b$	$\leq 1,5b$	$> b$

Припуски на механическую обработку поковок, назначаются в зависимости от группы стали и степени сложности поковки. В таблице 2 приведены припуски для поковки из стали М1, нормального класса точности, средней сложности ( $C1, C2$ ).

Если заготовки нагреваются в пламенных печах, то значения припусков для поковок массой до 2,5 кг увеличиваются на 0,5 мм, массой 2,5-6,0 кг на 0,8 мм, массой более 6 кг на 1,0 мм.

Таблица 2:

**Припуски на механическую обработку на сторону поковки из углеродистой и низколегированной стали (М1) нормального класса точности, средней сложности (С1, С2), мм**

Масса детали, кг	Толщина (высота), длина или ширина поковки, мм						
	До 50	50-120	120-180	180-260	260-360	360-500	500-630
0,4-0,63	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2
0,63-1,0	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3
1,0-1,6	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	2,5	2,6
1,6-2,5	2,1	2,2	2,3	2,5	2,6	2,7	2,8
2,5-4,0	2,3	2,4	2,5	2,7	2,8	2,9	3,0
4,0-6,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2
6,3-10,0	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	3,3	3,4
10,0-16,0	2,9	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,6
16,0-25,0	3,2	3,3	3,4	3,6	3,7	3,8	3,9
25,0-40,0	3,5	3,7	3,8	3,9	4,0	4,1	4,3
40,0-63,0	3,9	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7

Допуски на размеры штампованных поковок приведены в таблице 3. По этой же таблице можно определить величины смещения и заусенца. Принцип смещения показан на рисунке 5. Смещение определяется как

$$m = \frac{(a_2 - a_1)}{2},$$

где  $a_1$  и  $a_2$  – соответственно наименьшая и наибольшая длина (ширина), измеряемая параллельно поверхности разъема штампа.

Принцип измерения заусенцев показан на рисунке 6.

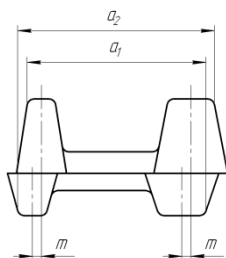


Рис. 5. Схема смещения при штамповке

Таблица 3

Допуски на штампованные поковки нормальной точности, мм

Смещение, мм	Заусенец	Масса, кг	Размер, мм						
			До 50	50-120	120-180	180-260	260-360	360-500	500-630
0,4	0,6	0,4-0,63	+0,8 -0,4	+0,9 -0,5	+1,1 -0,5	+1,2 -0,6	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	-
0,5	0,7	0,63-1,0	+0,9 -0,5	+1,1 -0,5	+1,2 -0,6	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,5 -0,9	+1,6 -1,0
0,5	0,8	1,0-1,6	+1,1 -0,5	+1,2 -0,6	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,6 -0,8	+1,6 -1,0	+1,8 -1,1
0,6	0,9	1,6-2,5	+1,2 -0,6	+1,3 -0,7	+1,5 -0,7	+1,6 -0,8	+1,7 -0,9	+1,8 -1,1	+2,0 -1,2
0,7	1,0	2,5-4,0	+1,3 -0,7	+1,5 -0,7	+1,6 -0,8	+1,7 -0,9	+1,9 -1,0	+2,0 -1,2	+2,2 -1,4
0,8	1,1	4,0-6,3	+1,5 -0,7	+1,6 -0,8	+1,7 -0,9	+1,9 -1,0	+2,0 -1,2	+2,2 -1,4	+2,5 -1,5
0,9	1,2	6,3-10,0	+1,6 -0,8	+1,7 -0,9	+1,9 -1,0	+2,1 -1,1	+2,2 -1,4	+2,5 -1,5	+3,0 -1,5
1,0	1,4	10,0-16,0	+1,7 -0,9	+1,9 -1,0	+2,1 -1,1	+2,4 -1,2	+2,5 -1,2	+3,0 -1,5	+3,0 -2,0
1,1	1,6	16,0-25,0	+1,9 -1,0	+2,1 -1,1	+2,4 -1,2	+2,5 -1,5	+3,0 -1,5	+3,0 -2,0	+3,5 -2,0
1,2	1,8	25,0-40,0	+2,1 -1,1	+2,4 -1,2	+2,5 -1,5	+3,0 -1,5	+3,5 -2,0	+4,0 -2,0	+4,0 -2,0
1,4	2,0	40,0-63,0	+2,4 -1,2	+2,5 -1,5	+3,0 -1,5	+3,5 -2,0	+3,5 -2,0	+3,5 -2,0	+4,0 -2,5

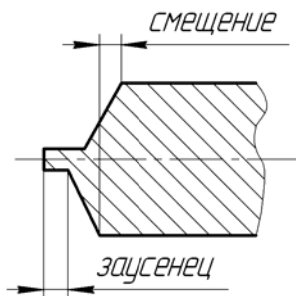


Рис. 6. Измерение величины смещения и заусенца

При конструировании штампованных поковок необходимо учитывать, что на все поверхности поковки перпендикулярные ходу инструмента назначаются штамповочные уклоны, величина которых выбирается в зависимости от типа штамповочного оборудования (таблица 4). На поковках не должно быть острых углов. Сопрягаемые поверхности должны иметь закругления, выполняемые радиусами. Величины радиусов закругления приведены в таблице 5.

Таблица 4

**Штамповочные уклоны**

Оборудование	Величина уклона, град.	
	Внешние	Внутренние
Молоты, прессы без выталкивателей	7	10
Прессы с выталкивателями	5	7
Горизонтально-ковочные машины	5	7

Таблица 5

**Наименьшие радиусы закруглений внешнего угла поковок**

Масса поковки, кг	Наименьшие радиусы закругление R, мм при глубине плоскости ручья штампа, мм			
	До 10	10-25	25-50	Св. 50
До 1,0	1,0	1,5	2,0	2,5
1,0-6,0	1,5	2,0	2,5	3,5
6,0-16,0	2,0	2,5	3,0	4,0
16,0-40,0	2,5	3,0	4,0	5,0
40,0-100,0	3,0	4,0	5,0	7,0

Отверстия или углубления выполняются в том случае, если их оси совпадают с направлением движения инструмента. Диаметры



отверстий и углублений должны быть больше или равны высоте поковки, но не менее 30 мм. Общая величина углублений должна быть не более 0,8 их диаметра.

### 3. Выбор исходной заготовки

В качестве заготовок для штамповки применяют прокат черных и цветных металлов разных профилей: сортовой и профильный прокат, прокат периодического профиля, полосовую заготовку. Прутки длиной 2-4 метра разделяют на заготовки мерной (необходимой) длины на ножницах, в штампах, в хладноломах, плазменной резкой, резкой на пилах, электроискровой и анодно-механической резкой и т.д.

Для определения массы исходной заготовки необходимо рассчитать ее объем. При штамповке вдоль оси (в торец) объем исходной заготовки определяется как:

$$V_{заг} = k(V_{нок} + V_{отх}),$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий угар металла,  $k = 1,01$ ;  $V_{нок}$  – объем холодной поковки, определяемый по чертежу (по номинальным размерам);  $V_{отх}$  – объем отходов,  $V_{отх} = V_{пер} + V_3$ ;  $V_{пер}$  – объем перемычки (если поковка с отверстием), вычисляемый по чертежу поковки;  $V_3$  – объем заусенца,  $V_3 = \psi S_k l_{\delta}$ ;  $\psi$  – коэффициент, учитывающий степень заполнения накопителя,  $\psi = 0,3$  для поковок простой формы,  $\psi = 0,5$  для форм средней сложности,  $\psi = 0,7$  для поковок сложной формы;  $S_k$  – площадь сечения накопителя;  $l_{\delta}$  – длина центров тяжести поперечных сечений заусенца. Ориентировочно объем заусенца можно принять равным 1,5-3,0% от объема холодной поковки.

При штамповке поперек оси, т.е. для длинноосных в плане поковок объем отходов рассчитывается несколько иначе:

$$V_{отх} = V_3 + V_{кл} + V_{с.н.} + V_{пер},$$

где  $V_{кл}$  – объем клещевого конца,  $V_{кл} = \pi D_0^3 / 16$ ;  $D_0$  – диаметр заготовки (прутка);  $V_{с.н.}$  – объем соединительного напуска (если штампуются одновременно более одной поковки).

После определения массы заготовки находят ее размеры. При штамповке в торец необходимо, чтобы длина заготовки не превышала 2,5 ее диаметра. В противном случае может произойти искривление продольной оси.

#### **4. Особенности нагрева при штамповке**

Для нагрева заготовок под штамповку применяют следующие нагревательные устройства: камерные печи, характеризующиеся постоянной температурой в рабочей зоне (щелевые, очковые, с закрывающимися окнами), полуметодические и методические печи с толкателями, отличающиеся определенной неравномерностью распределения тепла в рабочей зоне, карусельные печи с вращающимся подом, печи скоростного нагрева (с увеличенным тепловым напором), электронагревательные устройства контактного и индукционного нагрева.

В связи с тем, что штампованные поковки отличаются незначительными допусками на механическую обработку и относятся к так называемым точным заготовкам, для нагрева в штамповочном производстве используются малоокислительные и безокислительные способы нагрева: в расплавах солей; в среде защитных газов (аргон, смесь технического азота и природного газа); в парах лития; в газовых печах (с избытком газа) и нагрев заготовок со стеклянными обмазками.

В отличие от двухстадийного нагрева, применяемого при свободной ковке крупных поковок в штамповочном производстве широко практикуется одностадийный нагрев с максимально допустимой скоростью, так как размеры сечений нагреваемых заготовок относительно невелики (до 200 мм).

Ориентировочно время нагрева кованых и катаных заготовок из углеродистой конструкционной стали при одиночном расположении в печи можно определить по таблице 6.

Таблица 6

**Время нагрева кованых и катанных заготовок (М1) при одиночном  
расположении в печи, мин**

Диаметр или сторона квадрата, мм	Температура рабочего пространства печи, °С					
	1200		1300		1400	
	Температура нагрева, °С					
	1100	1150	1200	1250	1200	1250
10	2,7/3,3	3,0/3,5	2,0/2,5	2,0/3,0	1,0/1,5	1,0/1,5
20	4,5/5,5	6,0/7,5	3,0/4,5	4,0/5,0	1,5/2,0	1,5/2,0
30	7,0/9,0	8,5/11,0	5,0/6,0	6,0/8,0	2,5/3,0	2,5/3,0
40	10,0/13,0	11,0/14,5	6,5/8,0	8,0/10,5	3,5/4,5	3,5/4,5
50	12,5/16,0	15,0/19,5	8,0/10,5	10,5/13,5	4,5/5,5	4,5/5,5
60	15,0/19,5	18,0/23,0	10,0/13,0	12,5/16,0	5,0/6,5	5,5/7,0
70	17,5/22,5	21,0/27,0	12,0/15,0	14,5/19,0	6,0/7,5	6,5/8,0
80	20,5/26,5	24,5/31,5	14,0/17,5	16,5/22,0	7,0/9,0	7,5/9,5
90	23,5/30,5	27,5/35,5	16,0/20,0	19,0/24,5	8,0/10,5	8,5/11,0
100	26,0/33,5	31,0/40,0	18,0/23,0	21,0/27,5	9,0/11,5	10,5/13,0
110	29,5/38,0	35,0/45,5	20,0/26,0	23,5/30,5	10,5/13,5	11,5/15,0
120	32,5/41,5	38,5/50,0	22,5/29,5	26,0/33,5	12,0/15,0	13,0/17,0
130	36,0/46,5	42,5/55,0	25,0/32,5	29,0/38,0	13,0/16,5	14,0/18,0
140	39,0/50,5	46,0/59,5	27,5/36,0	32,0/41,5	14,0/18,0	15,5/19,5
150	42,5/55,0	50,0/65,0	30,0/39,0	35,0/45,5	15,5/20,0	17,0/22,0
160	46,0/59,5	54,5/71,0	33,0/43,0	38,5/50,5	16,5/21,5	18,0/23,5
170	50,0/64,5	58,5/76,0	36,0/47,0	42,0/54,5	18,0/23,0	19,5/25,0
180	54,0/70,0	63,0/81,0	39,5/51,5	46,0/59,5	19,5/25,0	21,0/27,0
190	58,0/75,0	68,0/88,0	42,5/55,5	49,5/64,0	21,0/27,0	23,0/29,5
200	62,5/81,0	72,5/94,0	46,0/60,0	53,5/69,0	22,5/29,0	24,5/32,0
В числителе даны значения для заготовок круглого сечения, в знаменателе – квадратного.						

### 5. Технологические операции

Технологические операции штамповки предназначены для приближения исходной заготовки к форме и размерам поковки. Каждая технологическая операция выполняется в соответствующем ручье (полости) штампа. Наименование операции и соответствующего ей ручья одинаковы.

Все операции делятся на заготовительные и штамповочные. К заготовительным операциям относятся пережим, подкатка, протяжка, формовка, гибка, осадка, отрубка, к штамповочным

операциям – предварительная (черновая) и окончательная (чистовая) штамповка.

Пережим служит для уширения заготовки и незначительного перераспределения металла вдоль оси. Операция выполняется в пережимном ручье штампа нанесением одного-двух ударов без кантовки заготовки вокруг продольной оси.

Подкатка применяется для увеличения поперечных сечений заготовки в одних частях за счет уменьшения в других и перераспределения объемов металла вдоль оси заготовки. Операция выполняется в подкатном ручье штампа нанесением двух-четырех ударов с кантовкой заготовки после каждого удара на  $90^{\circ}$ .

Протяжка предназначена для увеличения длины заготовки за счет уменьшения площади ее поперечного сечения. Операция выполняется в протяжном ручье штампа нанесением ряда последовательных ударов, сопровождающихся кантовкой заготовки вокруг оси и ее перемещением вдоль оси.

Формовка служит для перераспределения металла заготовки в соответствии с формой поковки в плане. Операция выполняется в формовочном ручье штампа нанесением одного удара.

Гибка применяется для изгиба заготовки в соответствии с формой поковки в плане. Операция выполняется в гибочном ручье штампа нанесением одного-двух ударов без кантовки заготовки вокруг оси.

Осадка предназначена для увеличения размеров заготовки в плане за счет уменьшения ее высоты. Операция выполняется на осадочных площадках, имеющих в штампах, нанесением нескольких ударов до достижения требуемой высоты.

Предварительная штамповка производится в предварительном ручье штампа; окончательная – в окончательно ручье. Предварительный ручей отличается от окончательного большими радиусами закругления, штамповочными уклонами и отсутствием заусенечной канавки. Штамповка в штамповочных ручьях осуществляется нанесением нескольких ударов максимальной возможной силы.

### **Рекомендуемый библиографический список**

1. *Бойцов Ю.П.* Технология конструкционных материалов: Учебное пособие / Ю.П.Бойцов, С.Л.Иванов, С.Ю. Кувшинкин, Э.А. Кремчеев; СПГИ(ТУ). СПб, 2005. 86 с.

2. ГОСТ 3212-92. Комплекты модельные. Уклоны формовочные, стержневые знаки, допуски размеров. М.: Изд-во стандартов, 1992. 17 стр.

3. ГОСТ Р 53464-2009. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку. М.: Стандартиформ, 2010. 50 с.

4. *Солнцев Ю.П.* Материаловедение и технология конструкционных материалов: Учебник для ВУЗов / М.: МИСИС, 1996. 512 с.

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	3
РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА №1	
«Разработка технологического процесса изготовления отливки в песчаной форме».....	4
1. Выбор положения отливки и определение плоскостей разъема.....	6
2. Назначение припусков на механическую обработку.....	8
3. Разработка эскиза модели.....	9
4. Разработка эскиза стержня.....	12
5. Расчет литниковой системы.....	13
6. Литейная форма в сборе.....	15
7. Содержание отчета и требования по его оформлению.....	16
РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА №2	
«Разработка технологического процесса изготовления поковки свободной ковкой».....	27
1. Разработка эскиза поковки.....	28
2. Определение массы и размеров исходной заготовки.....	34
3. Режим нагрева и охлаждения.....	38
4. Определение последовательности кузнечных операций.....	43
РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА №3	
«Разработка технологического процесса горячей объемной штамповки».....	48
1. Разновидности штамповки.....	49
2. Разработка чертежа поковки.....	51
3. Выбор исходной заготовки.....	56
4. Особенности нагрева при штамповке.....	57
5. Технологические операции.....	58
Рекомендуемый библиографический список.....	60

# **ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Методические указания к практическим занятиям  
для студентов бакалавриата направления 21.03.01*

Сост.: *С.Ю. Кувшинкин, П.В. Иванова*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой  
машиностроения

Ответственный за выпуск *С.Ю. Кувшинкин*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 27.03.2020. Формат 60×84/16.  
Усл. печ. л. 3,6. Усл.кр.-отт. 3,6. Уч.-изд.л. 3,2. Тираж 75 экз. Заказ 259. С 56.

Санкт-Петербургский горный университет  
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета  
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2