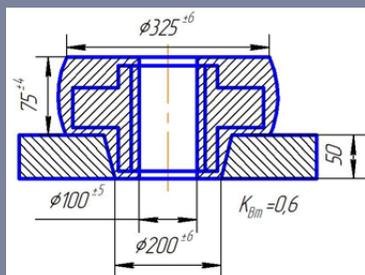


Министерство образования и науки Российской Федерации  
Тольяттинский государственный университет  
Институт машиностроения  
Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»

Д.Ю. Воронов, В.М. Боровков, И.В. Кузьмич

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ЗАГОТОВОК ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Электронное учебно-методическое пособие



ISBN 978-5-8259-1254-7

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский  
государственный университет», 2018

УДК 621.62-822(035)

ББК 34.447

Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент, руководитель инженерной службы  
ООО «Диамера» *Д.Е. Салабаев*;  
канд. техн. наук, доцент Тольяттинского  
государственного университета *Д.А. Расторгуев*.

Научный редактор:

заслуженный деятель науки и техники РФ,  
д-р техн. наук, профессор *О.И. Драчев*.

Воронов, Д.Ю. Проектирование и производство заготовок изделий машиностроительного производства : электрон. учеб.-метод. пособие / Д.Ю. Воронов, В.М. Боровков, И.В. Кузьмич. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2018. – 1 оптический диск.

Подготовлено в соответствии с государственными требованиями к минимуму содержания и уровня подготовки инженера (бакалавра). Приведены основные методы получения заготовок, рассмотрены методики выбора и проектирования заготовок, полученных различными способами.

Предназначено для студентов направлений подготовки бакалавров 15.03.01 «Технология машиностроения» (дисциплина «Производство и проектирование заготовок») и 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» (дисциплина «Основы технологии машиностроения») дневной и заочной форм обучения. Может быть полезно преподавателям, инженерно-техническим работникам.

Текстовое электронное издание.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом  
Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: IBM PC-совместимый компьютер: Windows XP/Vista/7/8; PIII 500 МГц или эквивалент; 128 Мб ОЗУ; SVGA; CD-ROM; Adobe Acrobat Reader.

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский  
государственный университет», 2018



Редактор *Г.В. Данилова*  
Технический редактор *З.М. Малявина*  
Компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева*  
Художественное оформление,  
компьютерное проектирование: *И.В. Карасев, Г.В. Карасева*

В оформлении пособия использованы изображения  
с интернет-сайта [www.pixabay.com](http://www.pixabay.com)

Дата подписания к использованию 12.04.2018.  
Объем издания 14 Мб.  
Комплектация издания: компакт-диск, первичная упаковка.  
Заказ № 1-82-13.

Издательство Тольяттинского государственного университета  
445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,  
тел. 8 (8482) 53-91-47, [www.tltsu.ru](http://www.tltsu.ru)

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ .....	6
Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗАГОТОВКАХ .....	7
1.1. Основные понятия и определения .....	7
1.2. Общетехнологические справочные сведения .....	8
1.3. Распространенные материалы, используемые для изготовления заготовок .....	12
Глава 2. ПРОИЗВОДСТВО ОТЛИВОК .....	33
2.1. Основные технологические свойства литейных сплавов ...	33
2.2. Литье в песчаные формы .....	34
2.3. Литье по выплавляемым моделям .....	42
2.4. Литье в оболочковые формы .....	44
2.5. Литье в металлические формы (кокиль) .....	45
2.6. Литье под давлением .....	46
2.7. Центробежное литье .....	48
2.8. Порядок выполнения чертежа отливки .....	49
2.9. Термическая обработка и технический контроль отливок из стали .....	55
Глава 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОКОВОК .....	61
3.1. Обработка металлов давлением в современном машиностроении .....	61
3.2. Прокатка .....	64
3.3. Ковка .....	67
3.4. Горячая объемная штамповка .....	69
3.5. Выдавливание .....	73
3.6. Рекомендации по проектированию чертежа поковки на процессы объемной штамповки .....	74
3.7. Вальцовка .....	85
3.8. Штамповка на радиально-обжимных и ротационно-ковочных машинах .....	86
3.9. Раскатка и накатка .....	88
3.10. Калибровка .....	92
3.11. Листовая штамповка .....	93
3.12. Высокэнергетические методы штамповки .....	111

Глава 4. КОНТРОЛЬ ЗАГОТОВОК .....	116
4.1. Классификация средств неразрушающего контроля (СНК) .....	116
4.2. Дефекты отливок и причины их возникновения .....	118
4.3. Дефекты поковок и причины их возникновения .....	119
4.4. Контролируемые параметры, дефекты и методы контроля .....	120
Глава 5. ВЫБОР ЗАГОТОВОК .....	123
5.1. Последовательность выбора заготовок .....	123
5.2. Способы механизации и автоматизации процессов изготовления заготовок .....	136
5.3. Определение размеров заготовки .....	137
5.4. Порядок оформления чертежа заготовки .....	139
<b>ВАРИАНТЫ ЗАДАЧ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ     ЧЕРТЕЖА ЗАГОТОВКИ .....</b>	<b>140</b>
Библиографический список .....	153
Приложение 1 .....	155
Приложение 2 .....	156
Приложение 3 .....	158
Приложение 4 .....	166
Приложение 5 .....	169
Приложение 6 .....	175
Приложение 7 .....	183
Приложение 8 .....	191
Приложение 9 .....	203

## **ВВЕДЕНИЕ**

Целью учебно-методического пособия является повышение эффективности конструкторско-технической подготовки студентов в системе технического образования в области производства заготовок.

В современном машиностроении затраты на производство заготовок составляют значительную часть себестоимости изделий. Следовательно, крайне важно правильно определиться с методом получения заготовки и спроектировать ее таким образом, чтобы обеспечить минимальную стоимость заготовки и последующей механической обработки при сохранении требуемых параметров качества.

В связи с этим будущим инженерам по специальности «Технология машиностроения» и бакалаврам направления подготовки «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» необходимо овладеть навыками выбора методов получения и проектирования заготовок для изделий машиностроительного производства.

# Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗАГОТОВКАХ

## 1.1. Основные понятия и определения

Основы проектирования заготовок – учебная дисциплина об оптимизации процесса выбора способа изготовления заготовок. Данная учебная дисциплина образовалась на стыке многих машиностроительных технических дисциплин:

- технологии машиностроения;
- технологии конструкционных материалов;
- деталей машин;
- черчения и начертательной геометрии;
- физики, химии и др.

Основной задачей машиностроения является снижение материалоёмкости и энергоёмкости изготавливаемых изделий за счет повышения точности машиностроительных заготовок, использования новых материалов с более высокими прочностными свойствами и лучшей обрабатываемостью, внедрения безотходных технологических процессов, композитов, пластических масс и керамики.

Заготовительное производство стало важнейшим звеном современного машиностроительного предприятия и в технологической документации этого производства используются специальные термины и определения.

Под **заготовкой** понимается полуфабрикат, предназначенный для последующей обработки и превращения его в изделие.

**Изделие** – продукт технологической деятельности человека, пригодный для конкретного использования без дополнительной обработки.

**Обработка** – технологический процесс, проводимый с целью заданного изменения геометрической формы, размеров, шероховатости поверхностей, внутренней структуры и свойств материала.

**Деталь** – изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций.

**Припуск** – слой материала, удаляемый с поверхности заготовки в целях достижения заданных свойств, геометрической формы и размеров обрабатываемой поверхности.

**Напуск** – часть объема заготовки, добавляемая для упрощения технологического процесса ее получения.

**Поковка** – промежуточная заготовка, полученная обработкой давлением.

**Отливка** – заготовка, полученная в литейной форме из расплава металла или других материалов.

**Штамповка** – заготовка, полученная ковкой в штампах.

**Тип производства** – классификационная категория производства, определяемая широтой номенклатуры и объема выпуска изделий.

Выделяют **единичный** тип производства, когда изготавливаются отличающиеся друг от друга изделия.

**Серийный** – когда изготавливаются серии отличающихся друг от друга групп изделий.

**Массовый** тип производства – когда изготавливаются одноименные изделия.

**Допуск** – допускаемые отклонения числовой характеристики параметра от его расчетного или номинального значения в соответствии с качествами или классами точности.

Эти общие понятия используются при проектировании заготовок деталей машин, получаемых различными процессами, методами и способами.

## **1.2. Общетехнологические справочные сведения**

**Заготовка** как продукт технологической деятельности по ГОСТ 2101–68 может быть отнесена к изделию.

ГОСТ устанавливает следующие виды изделий заготовки: деталь и сборочная единица, на которые устанавливаются отдельные виды конструкторских документов. Согласно ГОСТ 2102–68, к ним относятся следующие графические документы: чертеж заготовки и чертеж детали, сборочный чертеж заготовки. Текстовые документы включают пояснительную записку, технические условия и другие документы, которые в отдельности или в совокупности определяют состав и содержат необходимые данные для разработки чертежа или документов для изготовления, контроля, приемки и эксплуатации.

**Чертеж заготовки** — документ, содержащий изображение заготовки и другие данные, необходимые для ее изготовления и контроля.

**Сборочный чертеж** — документ, содержащий изображение сборочной единицы и другие данные, необходимые для ее сборки, изготовления и контроля.

**Технические условия** — документ, содержащий требования норм, правил и положений к заготовке, ее изготовлению, контролю, приемке и поставке, которые целесообразно указывать в других конструкторских документах.

**Единая система технологической подготовки производства (ЕСТПП)** — установленная государственными стандартами система организации и управления процессом технологической подготовки производства, предусматривающая широкое применение прогрессивных типовых технологических процессов, стандартной технологической оснастки и оборудования, средств механизации и автоматизации производственных процессов, инженерно-технических и управленческих работ.

Содержание технологической подготовки производства зависит от вида производства.

**Вид производства** — классификационная категория производства, выделяемая по признаку применяемого метода изготовления изделия. Примерами видов производства являются литейное, сварочное и т. д.

Производство заготовок характеризуется программой выпуска, под которой понимается установленный для данного предприятия перечень изготавливаемых заготовок с указанием объема выпуска по каждому наименованию на планируемый период времени.

Заготовки изготавливаются с определенным производственным циклом.

**Производственный цикл** — интервал времени от начала до окончания производственного процесса изготовления заготовки.

Производство заготовок характеризуется техническим и технологическим оснащением.

Средства технологического оснащения — совокупность орудий производства, необходимых для осуществления технологического процесса изготовления заготовки.

**Технологический процесс** — часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и определению состояния предмета труда.

**Единичный технологический процесс** — технологический процесс изготовления заготовки одного наименования, типоразмера и исполнения независимо от типа производства.

**Типовой технологический процесс** — технологический процесс изготовления группы заготовок с общими конструктивными и технологическими признаками.

**Маршрутное описание технологического процесса** — сокращенное описание всех технологических операций в маршрутной карте в последовательности их выполнения с указанием переходов и технологических режимов.

**Операционное описание технологического процесса** — полное описание всех технологических операций в последовательности их выполнения с указанием переходов и технологических режимов.

**Материал** — исходный предмет труда, потребляемый для изготовления заготовки.

**Исходная заготовка** — заготовка перед первой технологической операцией.

**Основной материал** — материал исходной заготовки.

**Вспомогательный материал** — материал, расходуемый при выполнении технологического процесса дополнительно к основному материалу.

**Цикл технологической операции** — интервал календарного времени от начала до конца повторяющейся технологической операции независимо от числа одновременно изготавливаемых заготовок.

**Такт выпуска** — интервал времени, через который периодически производится выпуск заготовок определенного наименования, типоразмера и исполнения.

**Ритм выпуска** — число заготовок определенных наименований, типоразмеров и исполнений, выпускаемых в единицу времени.

**Литье** — изготовление заготовки из жидкого материала заполнением им полости заданной формы и размеров с последующим застыванием.

**Формообразование** — изготовление заготовок из жидких, порошкообразных или волокнистых материалов с помощью заполнения ими полости заданной формы и размеров с последующим сжатием.

**Механическая обработка** — обработка давлением или резанием.

**Обработка давлением** — обработка, заключающаяся в пластическом деформировании или разделении материала без образования стружки.

**Термическая обработка** — обработка, заключающаяся в изменении структуры и свойств материала заготовки вследствие тепловых воздействий.

**Нанесение покрытия** — обработка, заключающаяся в образовании на заготовке поверхностного слоя из инородного материала.

**Технологическое оборудование** — средства технологического оснащения, в которых для выполнения определенной части технологического процесса размещаются материалы или заготовки, средства воздействия на них, а также технологическая оснастка.

**Технологическая оснастка** — средства технологического оснащения, дополняющие технологическое оборудование для выполнения определенной части технологического процесса. Примерами технологической оснастки являются штампы, пресс-формы, модели, литейные формы, стержневые ящики, приспособления и т. д.

**Штучное время** — интервал времени, равный отношению цикла технологической операции к числу одновременно изготавливаемых заготовок.

**Основное время** — часть штучного времени, затрачиваемая на изменение предмета труда.

**Вспомогательное время** — часть штучного времени, затрачиваемая на выполнение приемов, необходимых для обеспечения и последующего определения состояния предмета труда.

### **1.3. Распространенные материалы, используемые для изготовления заготовок**

В развитии машиностроения трудно найти пример более быстрого прогресса, чем в области производства и применения различных материалов для изготовления заготовок.

Это в какой-то мере связано с тем, что ежегодно создается около 50 000 новых химических соединений, из них около 8000 неорганических. Часть из них может быть использована для изготовления машиностроительных заготовок, что обусловлено разработкой принципиально новых конструкций машин.

Наибольшее применение находят сплавы на металлической основе.

При выборе материала заготовки надо исходить из того, что материал должен удовлетворять техническим требованиям и условиям работы детали в машине, а также требованиям минимальной трудоемкости на всех стадиях изготовления детали и его себестоимость должна быть по возможности наименьшей.

Выбранный материал должен удовлетворять требованиям прочности, жесткости, износостойкости и быть технологичным: обладать ковкостью, литейными качествами и обрабатываемостью.

Разнообразие требований, предъявляемых современным машиностроением, диктует необходимость применения новых материалов, таких как композиты, высокопрочная керамика, пластмассы и др.

Машиностроение на всех этапах своего развития стимулировало возникновение новых материалов с такими физико-механическими свойствами, которые, в свою очередь, обеспечивали его непрерывный прогресс. Так, непрерывное развитие авиационной промышленности вызвало появление большого числа высокопрочных сплавов на алюминиевой и магниевой основах, а развитие реактивной техники – новых жаропрочных сплавов.

Одновременно с этим происходит повышение физико-механических свойств ранее появившихся материалов.

Чугун как конструкционный материал в начале XX века обладал пределом прочности при растяжении порядка 10 кгс/мм<sup>2</sup>, в то время как в настоящее время легированный чугун с шаровидным графитом имеет предел прочности, превышающий 100 кгс/мм<sup>2</sup>. Это поз-

волило, например, перейти к изготовлению заготовок коленчатых валов мощных дизелей из прочного чугуна с перлитной структурой.

Высокие свойства чугунов и различные способы их модифицирования и легирования обеспечили расширение области применения чугунов как конструкционных материалов для заготовок, иногда даже взамен сварных и штампованных конструкций.

Механические свойства чугунов изменяются в зависимости от толщины стенки литой заготовки и от марки используемого материала (рис. 1).

Серые чугуны подразделяются на две группы: конструкционные чугуны и чугуны со специальными свойствами. Отливки из конструкционных чугунов используют главным образом для деталей машин таких отраслей промышленности, как автомобильная, тракторная, сельскохозяйственная, машино-, станкостроение и др.

Отливки малой или средней прочности изготавливают из простых чугунов, отливки повышенной прочности – из низколегированных и модифицированных (табл. 1.1).

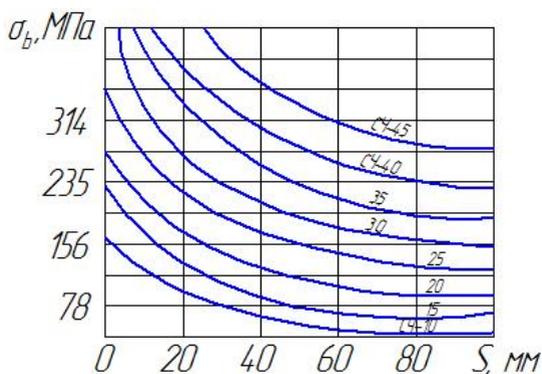


Рис. 1. Механические свойства чугунов в зависимости от толщины стенки отливок

Для получения однородных и повышенных механических свойств отливок из чугунов марок СЧ20, СЧ25, СЧ30, СЧ35 и СЧ40, а также для предотвращения отбела чугун модифицируют. Хотя модифицирование чугуна и уменьшает его склонность к отбеливанию,

для каждой марки существуют минимальные толщины стенок отливок, получаемые без структуро-свободного цемента (рис. 1).

Предел прочности, твердость и химический состав серых чугунов приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.1

Характеристики и примеры применения отливок из серого чугуна

Марка чугуна	Характеристика заготовки	Примеры применения
СЧ10	Неответственное литье, к которому предъявляются главным образом требования легкости обработки, а не прочности	Плиты, грузы, корыта, крышки, кожухи, основание с присоединенными направляющими
СЧ15	Малоответственное литье с толщиной стенки 8–15 мм; невысокие требования к износостойкости	Детали сложной конструкции при недопустимости большого коробления и невозможности проведения их старения; маховики, шкивы, поршневые кольца, арматура, сосуды, работающие под давлением; тонкостенные отливки с развитыми габаритными размерами небольшой массы; детали весов, текстильных, печатных, швейных, счетных и других машин
СЧ18	Ответственное литье с толщиной стенки 8–25 мм; детали, подвергающиеся средним напряжениям и давлениям	Основания станков, детали корпусов, крупные шкивы, зубчатые колеса, блоки цилиндров, поршни и поршневые кольца
СЧ20	Ответственное литье с толщиной стенки 10–30 мм; детали, требующие значительной прочности и работающие при температуре до 300 °С	Корпуса, блоки цилиндров, зубчатые колеса, станины с направляющими большинства металлорежущих станков, диски сцепления, тормозные барабаны
СЧ24	Ответственное литье с толщиной стенки 20–40 мм; детали, работающие при температуре до 300 °С	Блоки автомобильных цилиндров, гильзы двигателей, поршни, тяжело нагруженные зубчатые колеса, кокильные формы

Марка чугуна	Характеристика заготовки	Примеры применения
СЧ25	Ответственное сложное литье с толщиной стенки 20–60 мм; детали, работающие при температуре до 300 °С	Корпуса насосов и гидроприводов, поршни и гильзы дизелей и бесклапанных двигателей, цилиндры и головки дизелей, рамы, штампы для холодной вытяжки и другие детали, работающие под высоким давлением; блоки цилиндров, головки блоков, гильзы автомобильных и тракторных двигателей, станины и другие ответственные детали станков; клапаны и кулачки распределительных механизмов, зубчатые колеса
СЧ30	Ответственное высоконагруженное литье с толщиной стенки 20–100 мм; детали, работающие при температуре до 300 °С	Цилиндры и крышки паровых машин, малые коленчатые валы; клапаны и кулачки распределительных механизмов, зубчатые колеса, цепные звездочки, тормозные барабаны, муфты, диски сцепления, клапаны, поршневые кольца; станины ножниц и прессов, блоки и плиты многошпиндельных станков, станины с направляющими револьверных, автоматических и других интенсивно нагруженных станков
СЧ35	Ответственное тяжело нагруженное литье с толщиной стенки более 20 мм	Толстостенные втулки, зубчатые колеса, крупные коленчатые валы, цепные звездочки, зубчатые и червячные колеса, тормозные барабаны, муфты, диски сцепления, клапаны

Таблица 1.2

Химический состав и механические свойства отливок из серого чугуна (ГОСТ 1412–79)

Марка чугуна	Массовое содержание элементов, %					$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{и}$ , МПа	Твердость, НВ	
	С	Si	Mn	P S				МПа	кгс/мм <sup>2</sup>
				не более					
СЧ10	3,3–3,7	2,2–2,6	0,5–0,8	0,3	0,15	98	274	1402–2246	143–229
СЧ15	3,3–3,7	2,0–2,4	0,5–0,8	0,2	0,15	147	314	1599–2246	163–229
СЧ18	3,3–3,6	1,9–2,3	0,5–0,7	0,2	0,15	176	358	1668–2246	170–229
СЧ20	3,3–3,5	1,4–2,2	0,7–1,0	0,2	0,15	196	392	1668–2364	170–241
СЧ24	3,2–3,4	1,4–2,2	0,7–1,0	0,2	0,15	245	481	1668–2364	170–241
СЧ25	3,2–3,4	1,4–2,2	0,7–1,0	0,2	0,15	245	451	1766–2452	180–250
СЧ30	3,0–3,2	1,0–1,3	0,7–1,0	0,2	0,12	294	490	1775–2501	181–256
СЧ35	2,9–3,0	1,0–1,1	0,7–1,1	0,2	0,12	343	539	1932–2638	197–269

Марка чугуна	Массовое содержание элементов, %					$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{и}$ , МПа	Твердость, НВ	
	С	Si	Mn	P	S			МПа	кгс/мм <sup>2</sup>
				не более					
СЧ40	2,5–2,7	2,5–2,9	0,2–0,4	0,02	0,02	392	588	2030–2795	207–285
СЧ54	2,2–2,4	2,5–2,9	0,2–0,4	0,02	0,02	441	637	2246–2835	229–2889

Серый чугун малочувствителен к надразам, выточкам и другим концентраторам напряжений. Он обладает повышенной способностью гасить вибрационные колебания при воздействии на изделие переменных нагрузок и поэтому широко применяется для изготовления деталей, подвергнутых таким нагрузкам.

Для получения отливок со специальными свойствами используют такие свойства чугуна, как термо-, росто-, жаростойкость, коррозионная стойкость, специальные электромагнитные свойства. В большинстве случаев такие отливки изготавливают из низко- и среднелегированных чугунов.

Ковкий чугун (табл. 1.3) в основном является конструкционным материалом, используемым для изготовления мелких тонкостенных отливок с толщиной стенки не более 45 мм для сельскохозяйственных машин, автомобилей, тракторов, арматуры фитингов и других деталей массового производства. Особенно целесообразно применение ковкого чугуна в случае, если деталь трудно отлить из стали, а получить ее обработкой давлением слишком дорого.

Ковкий чугун отличается достаточно высокими прочностью и пластичностью, занимая промежуточное положение между серым чугуном и сталью.

Ковкий чугун делят на два класса: ферритный и перлитный в зависимости от состава и микроструктуры.

Ковкий чугун ферритного класса обладает повышенными пластичностью, сопротивляемостью ударным нагрузкам и однородностью механических свойств по сечению заготовок. Для ковкого чугуна перлитного класса характерны высокие прочность и износостойкость, средняя пластичность, хорошие антифрикционные свойства. Однако ковкий чугун обладает более низкими литейными свойствами, чем серый, в частности, пониженной жидкотекучестью, большей усадкой и повышенной склонностью к трещинообразованию.

Таблица 1.3  
Химический состав и механические свойства некоторых ковких чугунов (ГОСТ 1215–79\*)

Марка	Способ выплавки	Массовое содержание элементов, %							$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	Твердость НВ	
		Углерод	Кремний	Суммарное содержание углерода и кремния	Марганец	Фосфор	Сера	Хром			МПа	КГС/ММ <sup>2</sup>
Ферритного класса												
КЧ30-6	Вагранка	2,6–2,9	1,0–1,6	3,7–4,2	0,4–0,6	0,18	0,20	0,08	294	6	981–1599	100–163
КЧ35-10	Вагранка	2,5–2,8	1,1–1,3	3,6–1,0	0,3–0,6	0,12	0,20	0,06	333	10	981–1599	100–163
КЧ37-12	Электродпечь	2,4–2,7	1,2–1,4	3,6–4,0	0,2–0,4	0,12	0,06	0,06	362	12	1079–1599	110–163
Перлитного класса												
КЧ45-7	Вагранка	2,5–2,8	1,1–1,3	3,6–3,9	0,3–1,0	0,10	0,20	0,08	441	7	1471–2030	150–207
КЧ65-3	Электродпечь	2,4–2,7	1,2–1,4	3,6–3,9	0,3–1,0	0,10	0,06	0,08	637	3	2079–2638	212–269

Высокопрочный чугун с шаровидной формой графита широко используется как конструкционный материал в современном машиностроении (табл. 1.4).

По литейным свойствам высокопрочные чугуны приближаются к сталям, т. е. имеют пониженную жидкотекучесть, повышенную усадку, а следовательно, повышенную склонность к образованию дефектов литейного происхождения.

Себестоимость отливок из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом в среднем на 20–30 % ниже себестоимости отливок из углеродистой стали и в три-четыре раза ниже себестоимости стальных поковок.

Однако тонна отливок из высокопрочного чугуна на 20 % дороже тонны отливок из серого чугуна, поэтому заменять серый чугун высокопрочным целесообразно лишь в том случае, если при этом уменьшается масса детали или увеличивается срок ее службы.

Таблица 1.4

Механические свойства высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ГОСТ 7293–79\*)

Марка	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta$ , %	Твердость НВ	
	не менее			МПа	Кгс/мм <sup>2</sup>
ВЧ38-17	373	235	17	1373–1668	140–170
ВЧ42-12	412	274	12	1373–1962	140–200
ВЧ 45-5	441	333	5	1570–2158	160–220
ВЧ 50-7	490	343	7	1678–2364	171–241
ВЧ 50-2	490	343	2	1766–2550	180–260
ВЧ 60-2	600	393	2	1962–2747	200–280
ВЧ 70-2	686	441	2	2246–2943	229–300
ВЧ 80-2	784	490	2	2453–3237	250–330
ВЧ 100-2	981	686	2	2649–3532	270–360
ВЧ 120-2	1177	882	2	2963–3728	302–380

*Примечание.* Ударная вязкость чугуна марки ВЧ 38-17 не менее 13 Дж/см<sup>2</sup> (1,3 кгс-м/см<sup>2</sup>).

Из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом отливают ответственные тяжело нагруженные и толстостенные детали: крупные коленчатые валы, шестерни, прокатные валки и другие дета-

ли прокатного и кузнечно-прессового оборудования, работающие в условиях ударных нагрузок. В настоящее время доказаны возможность и экономическая эффективность перевода ряда деталей, изготавливаемых из стальных отливок и поковок, на отливки из высокопрочного чугуна.

Как известно, чугуны являются наиболее дешевыми литейными сплавами, обладающими достаточно высокими механическими и литейными свойствами, что делает их прекрасным материалом для литых заготовок машиностроительных деталей.

Сталь как литейный материал применяют для получения отливок деталей, которые наряду с высокой прочностью должны обладать хорошими пластическими свойствами, быть надежными и долговечными в эксплуатации. Чем ответственнее машина и тяжелее условия, в которых она работает, тем более значительна доля стальных отливок, идущих на ее изготовление. Например, масса стальных литых деталей в экскаваторе составляет 45 %, в тепловозе — 50 %, в тепловой арматуре — 60 % от общей массы машины. Многие стали хорошо свариваются, что дает возможность изготавливать сложные сварно-литые конструкции. Стальные отливки без литейных дефектов (усадочных и газовых раковин, неметаллических включений, трещин и т. п.) после соответствующей термообработки не уступают по механическим свойствам поковкам.

Применительно к машиностроению литейные стали условно можно разделить на три группы: конструкционные (нелегированные и легированные), инструментальные и стали со специальными свойствами.

Из конструкционных сталей в основном изготавливают детали, испытывающие механические нагрузки — статические, динамические, вибрационные. Из инструментальных сталей производят литой инструмент; из сталей со специальными свойствами (жаропрочные, жаро- и кислотостойкие, коррозионно-стойкие и т. д.) — детали, работающие в различных агрессивных средах, при высоких температурах, в условиях сложных механических нагрузок. Химический состав и механические свойства конструкционных нелегированных и легированных сталей приведены в ГОСТ 977—75\*.

Из конструкционных нелегированных сталей получают около 2/3 стальных фасонных отливок. По литейным свойствам эти стали уступают чугуну, но тем не менее из них можно изготавливать сложные отливки, разнообразные по конструкции, размерам, массе, толщине стенок, для различных отраслей народного хозяйства. После термической обработки литая конструкционная нелегированная сталь обладает достаточно высокими механическими свойствами (табл. 1.5).

Таблица 1.5

Механические свойства фасонных отливок из конструкционной нелегированной стали после нормализации (ГОСТ 977–75)

Марка	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %
15Л	200	400	24	35
20Л	220	420	22	35
25Л	240	450	19	30
30Л	260	480	17	30
35Л	280	500	15	25
40Л	300	530	14	25
45Л	320	550	12	20
50Л	340	580	11	20
55Л	350	600	10	18

Жидкотекучесть нелегированной конструкционной стали в среднем в два раза меньше жидкотекучести серых чугунов и определяется содержанием углерода в стали — по мере увеличения содержания углерода жидкотекучесть возрастает. Низкоуглеродистые стали марок 15Л и 20Л применяют обычно для изготовления несложных литых частей сварно-литых конструкций, так как эти стали обладают пониженной жидкотекучестью. Разнообразные по массе и конфигурации фасонные отливки для различных отраслей народного хозяйства в основном изготавливают из среднеуглеродистых сталей марок 25Л, 30Л, 35Л, 40Л. Литейные свойства этих сталей выше, чем низкоуглеродистых. Высокоуглеродистые стали марок 45Л, 50Л, 55Л применяют для изготовления износостойких деталей (зубчатых колес, шестерен, бара-

банов, катков и т. п.). Эта группа сталей обладает относительно хорошей жидкотекучестью. Для них характерна высокая литейная усадка: у тонкостенных отливок сложной конфигурации усадка составляет 1,25–1,5 %, у толстостенных – 2,0–2,5 %. Увеличение содержания углерода снижает литейную усадку, что уменьшает опасность образования горячих трещин. С другой стороны, высокоуглеродистые стали обладают наибольшей склонностью к образованию холодных трещин. Особенности литейных свойств конструкционных нелегированных сталей вызывают необходимость выполнения определенных требований при конструировании литых деталей.

Применение конструкционных легированных сталей является одним из путей увеличения надежности, долговечности изделий, снижения их массы. Низко- и среднелегированные стали по химическому составу можно разделить на следующие основные группы:

- марганцовистые стали марок 20ГЛ, 35ГЛ, 30ГСЛ, 20Г1ФЛ – применяют для ответственных износостойких деталей железнодорожного транспорта;
- хромистые стали марок 32Х06Л, 40ХЛ – используют для изготовления деталей, работающих в условиях абразивного изнашивания;
- хромомолибденовые стали марок 30ХМЛ, 35ХМЛ – применяют для деталей паровых турбин, арматуры, трубопроводов;
- сложнолегированные стали марок 30ХНМЛ, 35ХГСЛ, 13ХНДФТЛ, 12ДХ1МФЛ – используют для различных тяжело нагруженных деталей. Механические свойства этих сталей приведены в табл. 1.6.

Из сталей с особыми физическими, химическими и механическими свойствами (коррозионно-стойкие и жаропрочные стали) изготавливают детали специального назначения. Они устойчивы против коррозии во влажной атмосфере, в речной воде, слабых органических средах. Наибольшее распространение получили стали марок 15Х13Л, 20Х13Л, 20Х5МЛ, 10Х14НДЛ. Из этих сталей отливают турбинные лопатки, различные клапаны, арматуру, товары народного потребления.

Следующая группа – жаропрочные стали марок 20Х21Н46В8Л, 12Х18Н12МЗТЛ, 08Х17Н34В5ТЗЮ2Л. Эти стали способны сопротивляться пластическим деформациям при высоких температурах

(до 800–900 °С). Их применяют для изготовления деталей паровых и газовых турбин, котлов.

Жаростойкие стали марок 40Х9С2Л, 20Х25Н19С2Л, 45Х17ПЗНЗЮЛ устойчивы против окисления при высоких температурах (до 800–1000 °С).

Кислотостойкие стали устойчивы против коррозии в агрессивных средах – кислотах, растворах и т. п. В эту группу входят стали 10Х18Н11БЛ, 12Х18Н9ТЛ, 14Х18Н4Т4Л, 12Х25Н5ТМФЛ. Из указанных марок сталей изготавливают детали для оборудования пищевой, химической промышленности, газовых и турбокомпрессорных машин. Однако они имеют существенный недостаток – высокое содержание дорогостоящих элементов (в частности, никеля) и сравнительно невысокую прочность (предел прочности не превышает 450 МПа).

Для деталей, работающих в условиях ударных нагрузок и абразивного изнашивания, используют износостойкие стали марок 75Х8Л, 185Х34Л, 110Г13Л и др.

Все группы высоколегированных хромистых и хромоникелевых сталей мало отличаются друг от друга по литейным свойствам: имеют достаточно высокую жидкотекучесть; литейная усадка изменяется в широких пределах в зависимости от их структуры. Хромистые коррозионно-стойкие стали обладают более низкими литейными свойствами – пониженной жидкотекучестью, повышенной усадкой, склонны к образованию холодных трещин.

Процесс изготовления стальных отливок значительно сложнее, чем чугунных, так как литейные свойства у стали ниже, чем у чугуна. Для предупреждения образования усадочной пористости необходимы большие прибыли, объем которых может достигать 60 % объема отливки, что приводит к увеличению расхода материала в 1,6 раза. Учитывая пониженную жидкотекучесть стали, сечения литниковых каналов необходимо увеличивать в 1,5–3,0 раза. Все это, естественно, снижает коэффициент использования металла, повышает себестоимость деталей.

Таблица 1.6

Механические свойства конструкционных легированных сталей  
после термической обработки (ГОСТ 977–75\*)

Марка	$\sigma_T$ МПа	$\sigma_B$ МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	KCV		Термическая обработка
					Дж/м <sup>2</sup>	Кгс м/см <sup>2</sup>	
	не менее						
20ГЛ	280	550	18	25	490	5	Нормализация, отпуск
35ГЛ	350	600	14	30	490	5	Закалка, отпуск
30ГСЛ	400	650	14	30	490	5	>>
20Г1ФЛ	320	520	17	25	490	5	Нормализация, отпуск
20ФЛ	300	500	18	35	490	5	>>
30ХГСФЛ	400	600	15	25	344	3,5	>>
45ФЛ	500	700	12	20	292	3	Закалка, отпуск
32Х06Л	450	650	10	20	490	5	>>
40ХЛ	500	650	12	25	392	4	>>
35ХМЛ	550	700	12	25	392	4	>>
30ХНМЛ	550	700	12	20	292	3	Нормализация, отпуск
35ХГСЛ	600	800	10	20	392	4	Закалка, отпуск
12ДН2ФЛ	650	800	12	25	392	4	Закалка, отпуск
12ДНХШФЛ	750	1000	10	20	392	3	>>
23ХГС2МФЛ	1100	1300	6	25	392	4	>>
20ДХЛ	550	650	12	30	392	4	»
20ХГСНДМЛ	500	650	12	20	392	4	»
08ГДНФЛ	350	450	18	30	490	5	Нормализация, отпуск
13ХВДФТЛ	400	500	18	30	490	5	»

*Примечание.* Механические свойства сталей могут изменяться в зависимости от применяемой термической обработки, что также предусмотрено ГОСТом.

Таблица 1.7

Марки, механические свойства и примерное назначение литейных алюминиевых сплавов (ГОСТ 2685–75)

Марка	Механические свойства сплава						Область применения
	$\sigma_B$ , МПа		$\delta$ , %		НВ, МПа (кгс/мм <sup>2</sup> )		
	не менее						
	Литого	После термической обработки	Литого	После термической обработки	Литого	После термической обработки	
АЛ2	150–160	140–150	4–2,1	4–3,2	490 (50)	490 (50)	Сложные детали при средних нагрузках
АЛ4	150	230–200	2	3–1,5	490 (50)	687 (70)	Крупные детали, значительные нагрузки
АЛ9	160–170	140	2–1	2	490 (50)	422 (45)	Сложные детали, средние нагрузки

*Примечание.* В ГОСТе приведены механические свойства алюминиевых сплавов в зависимости от вида термической обработки. В данной таблице даны свойства сплавов без термообработки в литом состоянии и после ординарной термообработки, применяемой для сплава.

Продолжение табл. 1.7

Марка	Механические свойства сплава						Область применения
	$\sigma_B$ , МПа		$\delta$ , %		НВ, МПа (кгс/мм <sup>2</sup> )		
	не менее						
	Литого	После термической обработки	Литого	После термической обработки	Литого	После термической обработки	
АЛ3	160–140		0,5–0,5		637 (65)–637 (65)		Сложные детали, средние нагрузки
	–	150	–	1		637 (65)	
АЛ5	–	160	–	0,5	–	637 (65)	Крупные детали, значительные нагрузки

Марка	Механические свойства сплава						Область применения
	$\sigma_B$ , МПа		$\delta$ , %		НВ, МПа (кгс/мм <sup>2</sup> )		
	не менее						
	Литого	После термической обработки	Литого	После термической обработки	Литого	После термической обработки	
АЛ7	–	200	–	6	–	589 (60)	Простые детали, средняя нагрузка
АЛ19	–	300	–	8	–	687 (70)	
АЛ8	–	290	–	9	–	589 (60)	Сложные, нагруженные детали
АЛ13	150–170		1–0,5		539 (55)–539 (55)		Литье с повышенной коррозионной стойкостью
АЛ7	–	320	–	12	–	735 (75)	Сложные, нагруженные детали
АЛ1	–	210	–	0,5	–	932 (95)	Поршни, головки цилиндров, работающие при температуре до –300°
АЛ11	200 210–180	–	2	–	784 (80)	–	Фасонные отливки для моторостроения
АЛ24	220	270	2	2	589 (60)	687 (70)	Сложные детали радио- и электроаппаратуры
АЛ30	–	200	–	0,5	–	883 (90)	Автомобильные поршни

Сравнивая стоимость отливок одних и тех же массы и группы сложности, изготовленных из чугуна и стали, можно отметить, что оптовые цены на отливки из конструкционных нелегированных и низколегированных сталей близки к ценам аналогичных отливок из высокопрочного чугуна.

Учитывая более высокие литейные свойства высокопрочных чугунов, их прочность и пластичность, необходимо оценивать возможность замены стального литья литьем из высокопрочного чугуна.

В структуре литейного производства литье из цветных металлов и сплавов составляет около 4 %. Однако в последние годы наблюда-

ется тенденция к более широкому использованию цветных сплавов для получения фасонных отливок. Этому способствует наличие ряда особых физико-химических и физико-механических свойств, присущих сплавам из цветных металлов, и прежде всего высокая удельная прочность. Такие материалы, как алюминиевый и титановый сплавы, имеют более высокую удельную прочность, что позволяет при их применении значительно снизить массу изделий.

Среди литейных материалов из сплавов цветных металлов наиболее широкое применение нашли алюминиевые сплавы. Отливки из алюминиевых сплавов составляют около 70 % общего выпуска цветного литья; 25 % составляют отливки из медных сплавов. В последние годы достигнуты значительные успехи в освоении использования тугоплавких металлов, в частности титана, что значительно расширило область их применения, в том числе и для получения фасонных отливок.

Получение отливок из алюминиевых сплавов в машиностроительной промышленности нашло широкое применение прежде всего благодаря высоким удельной прочности, технологичности и достаточно высоким физико-механическим свойствам. Химический состав литейных алюминиевых сплавов представлен в ГОСТ 2685–75\*, куда включено 37 марок алюминиевых сплавов. Химический состав и механические свойства некоторых из них приведены в табл. 1.7. Более полно физико-механические и технологические свойства алюминиевых сплавов рассмотрены в специальной литературе.

Высокими литейными свойствами обладают сплавы системы алюминий – кремний, так называемые силумины. Эти сплавы широко применяют в автомобильной, авиационной, приборо-, машино-, судостроительной и электротехнической промышленности, так как они обладают высокими литейными свойствами, достаточными пластичностью и механической прочностью, удовлетворительной коррозионной стойкостью. Из силуминов получают отливки деталей сложной конфигурации, работающие при средних и значительных нагрузках.

Сплавы системы алюминий – медь обладают пониженными литейными свойствами, низкими пластичностью и коррозионной стойкостью, но хорошо обрабатываются резанием. Вследствие ши-

рокого интервала кристаллизации сплавы этой системы склонны к образованию усадочных трещин и рассеянной усадочной пористости. Отличительная особенность этих сплавов – теплопрочность. Основная область применения – самолетостроение.

Сложные алюминиевые сплавы, содержащие медь и кремний, обладают высокими жидкотекучестью, коррозионной стойкостью, хорошей свариваемостью. Их применяют для изготовления корпусов различных приборов, автомобильных и тракторных поршней, деталей авиационных двигателей.

Алюминиево-магниевого сплавы из всех литейных алюминиевых сплавов обладают наиболее высокими механическими свойствами, пониженной плотностью, высокими коррозионной стойкостью и прочностью. Их используют при изготовлении отливок, испытывающих большие вибрационные нагрузки или подвергающихся воздействию морской воды. Вследствие большой склонности к окислению, образованию усадочных трещин и рыхлот, взаимодействию с влагой литейной формы, пониженной жидкотекучести изготовление отливок из этих сплавов вызывает значительные технологические трудности.

Сплавы, не вошедшие в рассмотренные системы, относятся к сложнолегированным; их применяют для отливок, работающих при повышенных температурах и давлениях, требующих повышенной стабильности размеров, для изготовления сварных конструкций и деталей, хорошо обрабатываемых резанием.

Алюминиевые сплавы склонны к газопоглощению, что приводит к получению отливок с газовыми раковинами. Несмотря на то что линейная усадка алюминиевых сплавов невелика и составляет 0,9–1,4 %, они склонны к образованию усадочной пористости.

При производстве отливок из медных сплавов в основном используют три группы сплавов на медной основе:

- 1) латуни, ГОСТ 17711–80\*;
- 2) оловянные бронзы, ГОСТ 613–79;
- 3) безоловянные бронзы, ГОСТ 493–79.

В общем количестве медных сплавов, используемых в литейном производстве, латуни составляют 40–45 %, оловянные бронзы – 15–20 %.

Латуни – наиболее распространенные медные сплавы, отличающиеся относительно невысокой стоимостью, высокими механическими и технологическими свойствами (табл. 1.8).

Таблица 1.8

Марки, механические свойства и примерное назначение литейных латуней (ГОСТ 17711–80)

Марка	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	НВ, МПа (кгс/мм <sup>2</sup> )	Назначение
	не менее			
ЛЦ40С	215	12–20	687 (70)–784 (80)	Для фасонного литья втулок, арматуры, сепараторов, шариковых и роликовых подшипников
ЛЦ40Сд	196–264	6–18	687 (70)–981 (100)	Для литья под давлением деталей арматуры, работающей в воздушной среде и пресной воде
ЛЦ40Мц1,5	372–392	20	981 (100)–1079 (110)	Детали простой конфигурации, работающие при ударных нагрузках, детали узлов трения, работающие при ударных нагрузках и температуре не выше 60°
ЛЦ40Мц3Ж	490–392	18–10	981 (100)–883 (90)	Несложные детали ответственного назначения, арматура морского судостроения, массивных деталей, гребных винтов и т. д.
ЛЦ40Мц3А	441	15	1128 (115)	Детали несложной конфигурации
ЛЦ38Мц2С2	245–343	15–10	784 (80)–834 (85)	Конструкционные детали и аппаратура для судов; антифрикционные детали несложной конфигурации (втулки, вкладыши, ползуны и т. д.)
ЛЦ30А3	294–392	12–15	784 (80)–883 (90)	Коррозионно-стойкие детали для судостроения и машиностроения
ЛЦ25С2	146	8	589 (60)	Штуцера гидросистем автомобилей

Марка	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	НВ, МПа (кгс/мм <sup>2</sup> )	Назначение
	не менее			
ЛЦ23А6Ж3Мц2	686–705	77	1570 (160)– 1619 (165)	Ответственные детали, работающие при высоких удельных и знакопеременных нагрузках, при изгибе, антифрикционные детали
ЛЦ16К4	294–343	15	981 (100)– 1079 (110)	Сложные детали приборов и арматуры, работающие при температурах до 250 °С и подвергающиеся гидро-воздушным испытаниям

Для фасонного литья, как правило, применяют сложнотемперируемые латуни, простые двойные латуни используют редко. Большинство латуней обладают высокими жидкотекучестью, обрабатываемостью и свариваемостью, что позволяет использовать их в качестве заменителей оловянных бронз.

Оловянные бронзы широко применяют для изготовления литой арматуры, подшипников: шестерен, втулок, работающих в условиях интенсивного истирания, повышенного давления воды и пара.

Оловянные бронзы имеют хорошие литейные свойства, позволяющие получать сложные по конфигурации отливки. Лилейная усадка оловянных бронз в зависимости от химического состава изменяется в пределах 1,25–1,6 %; они обладают хорошей жидкотекучестью, но широким интервалом кристаллизации, вследствие чего склонны к образованию рассеянной усадочной пористости.

Безоловянные бронзы по некоторым свойствам превосходят оловянные и с успехом могут быть использованы как заменители последних. Они обладают более высокими механическими, коррозионными и антифрикционными свойствами. Однако литейные свойства их хуже: ниже жидкотекучесть, выше склонность к окислению, значительна лилейная усадка – 2,0–3,0 %. Наиболее широко применяют алюминиевые, марганцевые и кремнистые бронзы. Химический состав, механические свойства, способы получения отливок и область применения безоловянных бронз даны в табл. 1.9.

Производство отливок из титановых сплавов (табл. 1.10) является одной из перспективных областей литья, так как сплавы на осно-

ве титана отличаются малой плотностью, высокими удельной прочностью, физико-механическими свойствами и сопротивлением коррозии. Титановые сплавы обладают высокой жидкотекучестью, мало склонны к образованию горячих трещин и локализованных усадочных раковин. Однако изготовление отливок из титановых сплавов вызывает большие технологические трудности, обусловленные активным взаимодействием жидкого расплава со всеми используемыми в настоящее время для изготовления литейных форм материалами. Песчано-глинистые формы для получения фасонных отливок из титана и его сплавов непригодны, так как титан очень активно взаимодействует с материалом формы, легко окисляется.

Удовлетворительным материалом для литейных форм является графит, но следует учитывать, что стоимость его достаточно высока. Более дешевыми являются оболочковые формы, изготовленные из смеси высокоогнеупорных нейтральных окислов с применением в качестве связующего фенолформальдегидной смолы.

Недостаток этих форм – загрязнение поверхности отливок продуктами взаимодействия титана с материалом формы. Например, в отливке толщиной до 50 мм глубина загрязненного слоя составляет примерно 1,5 мм. Мелкие тонкостенные сложные отливки из титановых сплавов можно получать в формах, изготовленных по выплавляемым моделям.

Таблица 1.9

Марки, механические свойства и область применения  
безоловянных литейных бронз

Марка	$\sigma_{в}$ , МПа	$\delta$ , %	НВ, МПа (кгс/мм)	Область применения
	не менее			
БрА9Мц2Л	392	20	784 (80)– 784 (80)	Антифрикционные детали, детали арматуры, работающие в пресной воде и в паре при температуре до 250 °С
БрА10Мц2Л	490	12	1078 (110)	Арматура, антифрикционные детали
БрА9ЖЗЛ	490– 392	12– 10	980 (100)	
БрА10ЖЗМц2	490– 392	12– 10	1176 (120)– 980 (100)	

Марка	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	НВ, МПа (кгс/мм)	Область применения
	не менее			
БрА10Ж4Н4Л	587	6–5	1660 (170)– 1568 (160)	Детали химической и пищевой промышленности; детали, работающие при повышенных температурах
БрА11Ж6Н6	587	2	2450 (250)	Арматура, антифрикционные детали
БрА9Ж4Н4Мц	587	12	1568 (160)	Арматура для морской воды
БрС30	587	4	245 (25)	
БрА7Мц15Ж3Н2Ц2	607	2–18	637 (65)	Антифрикционные детали
БрСу3Н3Ц3С20Ф	607	2–18	637 (65)	

Таблица 1.10

Химический состав основных литейных сплавов титана

Сплав	Марка	Массовое содержание элементов (остальное титан), %						
		Алюминий	Ванадий	Молибден	Марганец	Хром	Кремний	Другие элементы
$\alpha$	BT5	4,3–6,2	–	–	–	–	–	–
	BT5-1	4,5–0	–	–	–	–	–	2–3 олово
	OT4-0	0,2–1,4	–	–	0,2–1,3	–	–	–
	OT4-1	1,0–2,5	–	–	0,7–2,0	–	–	–
Псевдо- $\alpha$	OT4	3,5–5,0	–	–	0,8–2,0	–	–	1,5–2,5 цирконий
	BT20	6,0–7,5	0,8–1,0	0,5–2,0	–	–	0,18–0,5	0,5–1,5 ниобий
	BT18	7,2–8,2	–	0,2–1,0	–	–	–	10–12 цирконий
	BT6C	5,0–6,5	3,5	–	–	–	–	–
	BT6	5,5–7,0	4,2–6,0	–	–	–	–	–
	BT8	6,0–7,3	–	2,8–3,8	–	–	0,2–0,4	–
$\alpha + \beta$	BT9	5,8–7,0	–	2,8–3,8	–	–	0,2–0,36	0,8–2,5 цирконий
	BT3-1	5,5–7,0	–	2,0–3,0	–	1,0–2,5	0,15–0,40	0,2–0,7 цирконий
	BT14	4,5–6,3	0,9–1,9	2,5–3,8	–	–	–	–
	BT16	1,6–,0	4,0–5,0	4,5–5,5	–	–	–	–
$\beta$	BT22	4,0–5,7	4,0–5,5	4,5–5,0	–	0,5–2,0	–	0,5–0,15 железо
	BT15	2,3–3,6	–	6,8–8,0	–	9,5–11,0	–	1,0 цирконий

Следует отметить, что технологические свойства сплавов необходимо в первую очередь учитывать при выборе способа литья. Чем ниже эти свойства у сплава, тем более ограничен выбор его для получения отливок, тем сложнее литейная технология, тем больше вероятность снижения качества отливок, тем выше себестоимость детали. На качество отливок значительное влияние оказывают материал формы и способ ее заполнения, поэтому далее будут рассмотрены принципиальные положения о формировании отливок в процессе литья.

Для получения отливок при любом способе литья необходима литейная форма, которая определяет наружные и внутренние контуры отливки. Литейные формы изготавливают из различных материалов и в зависимости от свойств последних подразделяют на две группы: разовые и постоянные. Разовые формы используют для получения одной отливки, при извлечении которой форму разрушают. Для изготовления разовых форм применяют песчано-глинистые, песчано-масляные, терморезистивные и другие формовочные смеси. Разовые формы могут быть сухими и сырыми. По толщине стенок их подразделяют на толстостенные (толщина стенок 25–250 мм и более), тонкостенные и оболочковые (толщина стенок 5–10 мм). К разовым формам относятся также неразъемные формы, используемые, в частности, при литье по выплавляемым моделям. Постоянные металлические формы широко используют в серийном и массовом производствах отливок, в основном из цветных металлов и сплавов. Материалом для этих форм могут быть чугун, сталь или алюминиевые сплавы. Постоянные формы применяют при специальных способах литья — кокильном, центробежном, под давлением и др.

## Глава 2. ПРОИЗВОДСТВО ОТЛИВОК

### 2.1. Основные технологические свойства литейных сплавов

**Жидкотекучесть** — способность расплавленного материала течь по каналам литейной формы, заполняя ее контуры, и четко воспроизводить контуры отливки.

Жидкотекучесть определяется по специальным пробам, и замеры жидкотекучести принимают длину заполненной спирали Архимеда.

В зависимости от жидкотекучести рекомендуется выбирать минимальную толщину стенок отливки: для мелких отливок из СЧ в песчаных формах толщина стенок 3,4 мм, для средних 8, 10 мм, крупных 12–15 мм, для остальных отливок 5–7 мм, 10–12, 12–20.

**Усадка** — это процесс уменьшения объема отливки при охлаждении, начиная с некоторой температуры жидкого металла в литейной форме до температуры окружающей среды.

Величина усадки для различных материалов различна и зависит от химического состава, температуры заливки и конфигурации заготовки. Предел от 1,9 до 2,1 %.

Для предупреждения образований больших напряжений и трещин необходимо предусматривать равномерную толщину стенок, плавные переходы и радиусы сопряжений пересекающихся поверхностей, а также устранять элементы, затрудняющие усадку материала, и использовать в процессе отливки литейные формы и стержни повышенной податливости.

**Газопоглощение** — способность литейных сплавов в расплавленном состоянии растворять водород, кислород, азот и другие газы. При затвердевании и последующем охлаждении растворимость газов уменьшается, в результате чего в отливке могут образоваться газовые раковины и поры, что приводит к браку отливок.

**Ликвация** — неоднородность химического состава в различных частях отливки. Различают ликвацию зональную и дендритную.

**Дендритная** — в пределах одного зерна.

**Зональная** — химическая неоднородность в объеме всей отливки.

Основные способы изготовления отливок:

- 1) литье в песчаные формы;
- 2) литье по выплавляемым моделям;
- 3) литье в оболочковые формы;
- 4) литье в кокиль;
- 5) литье под давление;
- 6) центробежное литье.

К специальным способам литья относятся:

- электрошлаковое центробежное литье;
- суспензионное литье;
- литье с применением магнитных полей;
- композиционное литье.

## 2.2. Литье в песчаные формы

Сущность литейного производства заключается в получении отливок – литых металлических изделий путём заливки расплавленного металла в специальную литейную форму, в которой он, остывая, затвердевает и сохраняет её очертания.

### Литейная технологическая оснастка

Для изготовления литейной формы применяют большое число различных приспособлений, которые называют литейной оснасткой. В её состав входят модели, подмодельные плиты, стержневые ящики, опоки и др.

**Модели** – приспособления, при помощи которых в формовочной смеси получают отпечатки полости, соответствующие наружной конфигурации отливки. Отверстия и полости внутри отливки, а также иные сложные контуры образуют при помощи стержней, устанавливаемых в формы при их сборке.

Размеры модели делают больше, чем соответствующие размеры отливки, на величину линейной усадки сплава. Если отливки подвергаются механической обработке, то в соответствующих размерах модели учитывают размер припусков – слоя металла, удаляемого при механической обработке. Он зависит от размеров отливки и вида сплава. Припуск на верхние поверхности отливки должен быть боль-

ше, чем на нижние и боковые поверхности, так как наверху скапливаются шлаки, частички формовочной смеси и газовые включения.

Отверстия небольших размеров, полученные литьем, трудно очистить от спёкшейся внутри стержневой смеси, которая отрицательно влияет на стойкость режущего инструмента при последующей механической обработке. Поэтому литьём следует выполнять отверстия, диаметр которых превышает 25–30 мм.

Чтобы легче удалить модель из формы, поверхности её, расположенные параллельно направлению движения при извлечении из формы, выполняют с формовочными уклонами, зависящими от высоты отливки. Без уклонов при извлечении модели может быть разрушение формы и осыпание формовочной смеси.

Для получения в форме отпечатков знаковых частей стержней, которыми стержень крепится в форме, модель имеет знаки — выступающие части. Сопряжения стенок в отливках должны быть плавными, без острых углов.

Скругление внутренних углов называется галтелью, наружных — закруглением.

Модели делают из древесины, металлических сплавов и пластмасс. Деревянные модели изготавливают из плотной хорошо просушенной древесины (сосна, ясень, бук и др.). Для предотвращения коробления модель делают не из целого куска древесины, а склеивают из отдельных брусочков так, чтобы направление волокон было различным. Преимущество деревянных моделей — дешевизна, простота изготовления, небольшая масса; основной недостаток — недолговечность.

Металлические модели имеют значительно большую долговечность, высокую точность и чистую рабочую поверхность. Такие модели чаще всего делают из алюминиевых сплавов, которые имеют малую плотность, не окисляются, хорошо обрабатываются резанием.

Модели из пластмасс устойчивы к действию влаги, не подвергаются короблению, имеют небольшую массу. Перспективным является применение моделей из вспененного полистирола, газифицирующегося при заливке металла, их не надо вынимать из формы перед заливкой.

**Стержневые ящики** служат для изготовления стержней и должны обеспечивать равномерное уплотнение смеси и быстрое извлечение стержня. Как и модели, они имеют уклоны; при назначении размеров ящика учитывают усадку сплава и припуск на обработку. Стержневые ящики делают из тех же материалов, что и модели, а по конструкции неразъёмными (вытряхными) и разъёмными.

**Опоки** – прочные металлические рамы различной формы, предназначенные для изготовления литейных полуформ из формовочных смесей. Их изготавливают из серого чугуна, стали, алюминиевых сплавов, они могут быть литыми, сварными или сборными из отдельных литых частей. Стенки опоки часто делают с отверстиями для уменьшения их массы, удаления газов из формы и для лучшего скрепления формовочной смеси с опокой. Соединяют опоки штырями и центрирующими отверстиями в приливах. Для скрепления опок применяют скобы или другие приспособления.

### **Формовочные и стержневые смеси**

В литейном производстве наиболее распространено получение отливок в разовых формах, изготовленных из песчано-глинистых и других смесей. Разовая форма пригодна для получения только одной отливки. При выемке (выбивке) готовой детали форму разрушают.

Формовочные и стержневые смеси должны обладать определенными механическими, технологическими и теплофизическими свойствами, основными из которых являются прочность, поверхностная прочность, пластичность, податливость, непригораемость, газопроницаемость и др.

**Прочность** – способность смеси обеспечивать сохранность формы (стержня) без разрушения при её изготовлении и использовании. Формы не должны разрушаться от толчков при сборке и транспортировке, выдерживать давление заливаемого металла.

**Поверхностная прочность (осыпаемость)** – сопротивление истирающему воздействию струи металла. Если она недостаточна, то происходит отделение частиц формовочной смеси, которые попадают в отливку.

**Пластичность** – способность смеси воспринимать очертания модели (стержневого ящика) и сохранять полученную форму.

**Податливость** – способность смеси сокращаться в объёме под действием усадки металла. При недостаточной податливости в отливке возникают напряжения, которые могут привести к образованию трещин.

**Непригораемость** – способность смеси выдерживать высокую температуру заливаемого сплава без оплавления и химического с ним взаимодействия. Плёнки пригара ухудшают качество поверхности и затрудняют последующую обработку. При оплавлении смеси резко снижается её газопроницаемость.

**Газопроницаемость** – способность смеси пропускать газы через стенки формы вследствие пористости. В расплавленном металле всегда содержатся растворённые газы, выделяющиеся при его охлаждении и затвердевании. Большое количество водяных паров и газов выделяется также из самих формовочных материалов при их нагревании. При недостаточной газопроницаемости в теле отливки могут образоваться газовые пузыри – раковины.

Для приготовления формовочных и стержневых смесей используют как природные, так и искусственные материалы. Песок – основной исходный материал смесей. Наиболее часто применяют кварцевый песок, в основном состоящий из кремнезема, обладающего высокой прочностью, твёрдостью, огнеупорностью  $t_{пл} = 1713$  °С. Мелкозернистые пески используют для мелкого литья, что обеспечивает получение гладкой поверхности отливок. Для крупных отливок применяют крупнозернистые пески, обеспечивающие более высокую газопроницаемость формовочной смеси.

Реже для формовочных смесей применяют цирконовый песок  $t_{пл} = 2000$  °С, хромит (хромистый железняк)  $t_{пл} = 1850$  °С и некоторые другие материалы. Они превосходят кварцевый песок по термохимической устойчивости, теплопроводности, но они дорогие; их используют в особо ответственных случаях, например для получения крупных стальных отливок с чистой поверхностью.

Глина – второй основной исходный материал в формовочных смесях. Она является связующим веществом, обеспечивающим их прочность и пластичность. На практике широко используют каолиновые или бентонитовые глины. В присутствии влаги на поверхности глинистых частиц образуются гидратные оболочки из

молекул воды, которые обеспечивают сцепление частиц и вместе с тем лёгкое скольжение между ними. Чем больше глина удерживает на поверхности воды, тем выше её связующая способность, а также пластичность формовочной смеси. При нагревании (сушке) по мере удаления влаги прочность смеси возрастает.

Кроме глины в качестве связующих веществ в формовочные, а особенно стержневые смеси вводят жидкое стекло, синтетические смолы, декстрин, сульфитно-спиртовую барду и др. Их вводят в состав смеси в количестве 1,5–3 %, но они значительно сокращают продолжительность затвердевания.

Для улучшения свойств песчано-глинистых смесей в них вводят добавки. В качестве противопригарных материалов для стального литья используют пылевидный кварц (маршалит), хромистый железняк; для чугунного и цветного литья – каменноугольную пыль, мазут. С целью увеличения податливости и газопроницаемости литейных форм в смеси добавляют древесные опилки.

По характеру использования формовочные смеси подразделяются на облицовочные, наполнительные и единые, а по состоянию литейной формы при её изготовлении и перед заливкой – на сырые и сухие.

Состав формовочной смеси выбирается в зависимости от литейного сплава с учётом его температуры плавления и усадки, а также массы, размеров и конфигурации отливки.

Для предотвращения пригара и улучшения чистоты поверхности отливок формы и стержни покрывают тонким слоем противопригарных материалов. Для сырых форм применяют припылы.

В формах для чугунных отливок используют порошкообразную смесь оксида магния, древесного угля и бентонита, порошкообразный графит. В формах для стальных отливок применяют порошкообразную смесь оксида магния и огнеупорной глины, пылевидный кварц, циркон и другие материалы. Для сухих форм применяют противопригарные краски, водные суспензии этих материалов с добавками связующих.

## Литниковые системы

Литейную форму заливают металлом через литниковую систему, под которой понимают совокупность каналов и резервуаров, по которым расплав поступает из ковша в полость формы. Литниковая система должна обеспечивать непрерывное поступление металла в форму, питание отливки для компенсации усадки, предотвращать разрушение формы, попадание шлака и воздуха со струёй расплава.

Основными элементами литниковой системы являются литниковая чаша, стояк, шлакоуловитель, питатели (рис. 2). Чаша уменьшает размывающее действие струи расплава, задерживает всплывающий шлак. Для лучшего задержания шлаковых включений в литниковые чаши или другие элементы литниковой системы иногда устанавливают фильтры: керамические сетки, либо фильтры из специальной стеклоткани.

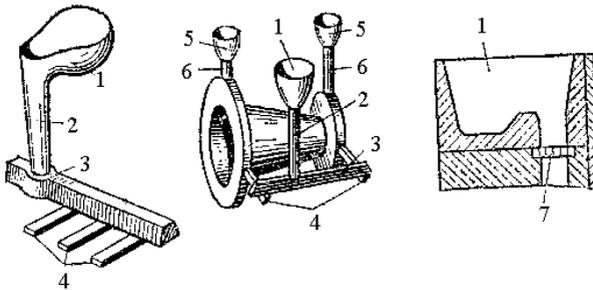


Рис. 2. Элементы литниковой системы: 1 – литниковая чаша; 2 – стояк; 3 – шлакоуловитель; 4 – питатели; 5, 6 – чаша и стояк выпоров (прибылей); 7 – фильтр из специальной стеклоткани

Стояк представляет собой вертикальный конический, обычно суживающийся книзу канал круглого сечения, по которому металл из литниковой чаши или воронки попадает в шлакоуловитель.

Шлакоуловитель служит для задержания попавших в металл шлака и других включений и представляет собой горизонтальный канал обычно трапециевидного сечения, располагающийся в верхней полуформе.

Питатели представляют собой каналы прямоугольного или трапециевидного сечения, которые примыкают к нижней части шлако-

уловителя и предназначаются для подвода металла непосредственно в полость формы.

Их располагают в нижней полуформе на некотором расстоянии от стояка и концов шлакоуловителя, так как в противном случае в них, а следовательно, и в полость формы может попасть шлак. Для лучшего задержания шлака в литниковой системе выдерживается следующее соотношение размера сечения стояка, шлакоуловителя и питателей  $F_{ст} > F_{шл} > F_{пит}$ .

Над самым высоким местом полости формы, на стороне, противоположной месту подвода в неё металла, делают выпоры – каналы для выхода из формы воздуха и газов и всплывающих неметаллических включений. Они содействуют нормальной усадке застывающего сплава и позволяют контролировать полноту заполнения формы металлом.

При изготовлении отливок из стали у наиболее массивных частей делают прибыли – наполненные жидким металлом полости, предназначенные для предупреждения образования в отливках усачных раковин и рыхлот. Они должны всё время пополнять затвердевающую отливку жидким металлом и сами затвердевать последними.

В зависимости от формы, размера отливки, состава и свойств литейного сплава применяются верхняя, нижняя (сифонная) и ярусная литниковые системы. Верхняя система наиболее проста, её применяют для мелких деталей небольшой высоты. С увеличением высоты происходит размывание формы струёй металла, разбрызгивание и окисление его, увеличивается количество неметаллических включений в теле отливки.

Нижнюю систему применяют для средних и толстостенных отливок значительной высоты. Она обеспечивает спокойное заполнение формы металлом, но она более сложна.

Ярусная система обеспечивает последовательное питание отливки снизу вверх, и её применяют для крупных отливок. Недостатки ярусной системы – сложность в изготовлении и значительный расход металла на литники.

## Изготовление литейной формы

Ручную формовку в опоках по разъёмной модели для изготовления отливки в разовой песчано-глинистой форме осуществляют в следующей последовательности.

1. *Изготовление нижней полуформы.* Нижнюю половину модели, не имеющую центрирующих шипов, ставят плоскостью разъёма на подмодельную доску и устанавливают опоку. Поверхность модели и доски посыпают разделительным составом для уменьшения прилипания смеси к оснастке (сухой кварцевый песок, порошок талька или графита). На модель наносят слой облицовочной смеси толщиной 20–30 мм, уплотняют её руками вокруг всей модели. Затем заполняют остальной объём опоки наполнительной смесью и уплотняют её трамбовкой, сначала у стенок опоки, а затем в средней части. Излишек смеси срезают линейкой. В формовочной смеси на расстоянии 40–50 мм друг от друга и на 10–15 мм от модели душником накалывают отверстия для выхода газов. Заформованную опоку покрывают второй подмодельной доской и переворачивают на 180°.

2. *Изготовление верхней полуформы.* На нижнюю половину модели по центрирующим шипам устанавливают верхнюю половину модели, модели шлакоуловителя, стояка и выпоров. Поверхность разъёма формы посыпают тонким слоем сухого кварцевого песка, для того чтобы формовочная смесь в верхней опоке не прилипла к смеси в нижней опоке. Верхнюю опоку устанавливают по центрирующим штырям на нижнюю. Наполняют её формовочными смесями так же, как и нижнюю. После уплотнения смеси вокруг стояка гладилкой прорезают литниковую чашу.

3. *Извлечение моделей.* Модели стояка и выпоров раскачивают и удаляют из верхней полуформы. Верхнюю опоку снимают и поворачивают на 180° разъёмом вверх. В плоскости разъёма нижней полуформы гладилкой прорезают питатели. Из полуформ после лёгкого раскачивания удаляют половины моделей и модель шлакоуловителя. Устраняют возможные дефекты формы, возникшие при извлечении моделей, обдувают полуформы сухим сжатым воздухом для удаления возможного засора. Поверхность полуформ припыливают молотым древесным углём или графитом.

4. *Сборка литейной формы.* В нижнюю полуформу, если требуется, устанавливают стержень и накрывают её верхней полуформой. Полуформы фиксируют штырями или скобами и на верхнюю полуформу устанавливают груз для предотвращения ухода жидкого металла через разъем формы во время заливки. Производится заливка металла в форму до тех пор, пока он, поднимаясь снизу, не заполнит до верха выпоры.

### **2.3. Литье по выплавляемым моделям**

Этим способом литья изготовляли литые скульптуры много столетий назад. В машиностроении его начали применять в 40-х годах XX века.

Этот способ изготовления отливок трудоемок и дорог. Однако его применение во многих случаях оправдано, например, при получении точных отливок без последующей механической обработки, при изготовлении деталей со сложной и трудоемкой механической обработкой, при использовании труднообрабатываемых сплавов (высоколегированных сталей и др.) и т. д.

Имеется большое число вариантов изготовления отливок по выплавляемым моделям, а также рецептур модельных и формовочных смесей.

Наиболее часто применяют смесь: 50 % парафина и 50 % стеарина. Расплавленный легкоплавкий сплав из печи заливают под небольшим давлением в пресс-форму. При этом получают легкоплавкую модель точных размеров.

После затвердевания легкоплавкую модель вынимают из пресс-формы, собирают в блоки с общей литниковой системой и погружают в огнеупорную суспензию, состоящую из 30 % гидролизованного раствора этилсиликата (обладает большой клейкостью) и 70 % кварцевой муки. Затем блок моделей посыпают сухим песком и сушат на воздухе. Повторяя эти операции несколько раз, получают форму толщиной 5–8 мм.

Модель выплавляется из формы с помощью горячего воздуха при 120–150 °С, паром или горячей водой. Для крупных отливок облицованную и просушенную форму с литниковой системой по-

мещают в металлический жакет и засыпают песком, уплотняют или засыпают металлической дробью.

Готовую форму прокаливают до температуры 850–900 °С, при которой остатки легкоплавкого состава выгорают. Форма при этом превращается в прочную керамическую оболочку.

Форму заливают расплавленным сплавом. При необходимости сплав подают в форму под действием центробежных сил.

После затвердевания металла блоки отливок выбивают из опок. Керамическую корку отбивают. Для удаления керамической корки с детали, имеющей отверстия и внутренние каналы, отливки выщелачивают при 120 °С в ванне с щелочным раствором с последующей промывкой их в горячей воде. После контроля отливок отрезают литники и зачищают их остатки. На многих заводах при литье по выплавляемым моделям все процессы изготовления отливок механизированы и автоматизированы.

В промышленности начали применять следующие способы получения точных отливок: литьем по выжигаемым, растворяемым, размораживаемым и по газифицируемым моделям. Наиболее перспективным из этих способов литья является способ с применением моделей из пенопласта (пенополистирола) или, как его называют, *литье по газифицируемым моделям*.

Особенность литья по пенопластовым моделям — применение неразъемных форм, из которых модель не извлекается, газифицируется за счет теплоты расплавленного металла. Таким способом получают отливки массой от 0,2 кг до нескольких тонн.

Пенополистирол, из которого изготавливают модель, имеет малую плотность, разлагается при 300–350 °С, выделяя пары стирола, легко обрабатывается даже простым ножом и разогретой проволокой.

В единичном производстве пенопластовые модели изготавливают механической обработкой вручную с помощью пил, рубанка, фуганка и на станках (строгальных, фрезерных, сверлильных и шлифовальных). Модели часто изготавливают по частям, которые затем соединяют склеиванием, сваркой, спеканием.

В крупносерийном производстве модели из полистирола получают методом вспенивания в металлических или пластмассовых формах. В форму, полость которой имеет конфигурацию и размеры

модели, загружают полистироловые гранулы. При нагревании гранулы вспениваются, расширяются, спекаются между собой, полностью заполняют полость формы. После охлаждения модель извлекают из формы.

Пенопластовую модель формуют в опоке обычным способом. Формовочную смесь чаще уплотняют на встряхивающих и вибрационных станках.

После изготовления форму заливают сплавом, при этом модель, которая осталась в форме, газифицируется, и газы удаляются в поры, а место, где находилась модель, заполняют сплавом для образования отливки.

Применяют и другие способы изготовления отливок с помощью модели из пенопласта. После изготовления формы пенопластовую модель удаляют растворением ее, прокаливанием формы, электроплавкой, продувкой формы горячими газами. Форму заливают после удаления модели. Пенопластовые модели применяют также вместо выплавляемых моделей.

## **2.4. Литье в оболочковые формы**

*Литье в оболочковые формы* – процесс получения отливок путем свободной заливки расплавленного металла в оболочковые формы из термореактивных смесей.

Этот способ литья является разновидностью литья в разовые песчаные формы, обеспечивает получение отливки с высоким качеством поверхности. Оболочковые формы изготавливают из смеси, которая состоит из кварцевого песка и синтетической смолы (6–7 % фенолформальдегидной) в виде порошка. Фенолформальдегидная смола при 70 °С размягчается, а при температуре свыше 120 °С плавится, превращаясь в жидкую клейкую массу. Через несколько секунд и по мере увеличения температуры смола становится твердой и вторичному расплавлению не поддается. При 450 °С смола начинает выгорать. На свойстве смолы переходить из жидкого состояния в необратимое твердое состояние основаны способы получения оболочковых форм. Оболочковая форма из песчано-смоляной смеси после заливки металлом легко разрушается, освобождая отливку.

## 2.5. Литье в металлические формы (кокиль)

*Литье в кокиль* – процесс получения отливок путем свободной заливки расплавленного металла в металлические формы – кокили.

Кокиль изготавливают из чугуна, стали и других сплавов. Способ литья в кокиль имеет преимущества перед литьем в песчаные формы. Кокили выдерживают большое число заливок (от нескольких сот до десятков тысяч) в зависимости от заливаемого в них сплава: чем ниже температура заливаемого сплава, тем больше их стойкость. При этом способе исключается применение формовочной смеси, повышаются технико-экономические показатели производства, улучшаются санитарно-гигиенические условия труда.

Высокая теплопроводность кокиля ускоряет процесс кристаллизации сплава и способствует получению отливок большой герметичности и с высокими механическими свойствами.

Высокая прочность металлических форм позволяет многократно получать отливки одинаковых размеров. Минимальное физико-химическое взаимодействие металла отливки и формы повышает качество поверхности отливки.

К недостаткам этого способа литья относится сравнительно малая стойкость и высокая стоимость изготовления кокиля. Образование внутренних напряжений в отливке требует соблюдения точного технологического процесса литья.

В кокилях получают 6 % стальных отливок. Этот способ литья экономически целесообразен в серийном и массовом производствах.

Кокиль чаще изготавливают из двух половин, соответствующих двум полуформам при литье в песчаные формы. Рабочая полость кокиля соответствует внешней конфигурации отливки. Установленные в эту форму песчаные стержни образуют полость с конфигурациями отливки. Для заливки кокиля жидким металлом в плоскости разъема или в стержне выполняют каналы для литниковой системы. Сплав заполняет пространство между полостью кокиля и стержнем, образуя отливки. После затвердевания отливки кокиль раскрывают, и из него выталкивается готовая отливка. Затем все процессы повторяются.

В зависимости от конфигурации отливки кокиль изготавливают с одним или несколькими разъемами. Плоскости разъема кокиля могут быть вертикальными, горизонтальными или комбинированными.

Чтобы уменьшить скорость охлаждения отливок, избежать образования закаленного слоя около поверхности и повысить стойкость кокиля, на его рабочую поверхность наносят теплоизоляционные покрытия. Их изготавливают из одного или нескольких огнеупорных материалов (кварцевой муки, молотого шамота, графита, мела, талька) и связующего материала (жидкого стекла, патоки).

Кокиль практически газонепроницаем. Газы удаляются из формы через выпор и газовые каналы, выполненные по линии разъема кокиля или в специальных пробках. Газовые каналы делают обычно глубиной 0,2–0,5 мм. Через такие каналы не вытекает жидкий сплав, но легко удаляются газы.

Механизировать и автоматизировать технологический процесс кокильного литья легче, чем процесс литья в песчаные формы. Для механизации применяют кокильные машины – однопозиционные и карусельные. На этих машинах автоматизируют следующие технологические процессы: открывание и закрывание кокилей, постановку и удаление металлических стержней и выталкивание отливок из кокиля.

## **2.6. Литье под давлением**

*Литье под давлением* – процесс получения отливок в металлических формах, при котором их заполнение сплавом и формирование отливок осуществляется под давлением. Этот способ литья применяют в массовом производстве (так как стойкость пресс-форм высока) тонкостенных отливок. При данном способе литья достигаются большая точность размеров отливок и высокое качество поверхности, не требуется механической обработки. Этот способ литья очень производителен (200–400 циклов в час). При литье под давлением формы изготавливают стальными. Они имеют более сложную конструкцию и большую точность, чем кокили, поэтому и стоимость их выше. Применяются только неразъемные металлические стержни. Использование песчаных стержней исключено, так как струя металла может их разрушить. Струя металла подается под большим давлением и скоростью. При этом газы из полости формы не успевают удалиться, что приводит к образованию в толстостенных отливках газовой пористости.

**Пресс-форма** — сложное приспособление, состоящее из 30–100 деталей. Рабочая часть пресс-формы выполнена из вкладышей. Металлические стержни для образования отверстий в отливке устанавливаются и извлекаются автоматически с помощью приспособления.

Сплав заливается в камеру прессования. При прессовании струя металла, проходя через литниковые каналы, заполняет полость пресс-формы. При раскрытии пресс-формы отливка выталкивается толкателями.

Машины для литья под давлением являются сложными техническими устройствами. Машина состоит из корпуса, направляющих, гидравлических цилиндров, которые приводят в движение половины пресс-формы и металлические стержни, а также создают давление (30–100 МН/м<sup>2</sup>) для прессования металла.

**Литье под низким давлением (0,01–0,08 МН/м<sup>2</sup>)** — промежуточный способ между литьем в кокиль и литьем под давлением. Сплав, находящийся в герметически закрытом тигле, расплавляется электронагревателями, поступает в полость формы по стальному металлопроводу и под давлением инертного газа на зеркало металла. После затвердевания отливки снимают давление газа в тигле, раскрывают форму и удаляют из нее отливку. Этим способом можно заливать тонкостенные отливки, крупногабаритные отливки с применением песчаных стержней.

При изготовлении литых деталей в кокиль и литьем под давлением необходимо учитывать следующие особенности металлических форм. Формы практически неподатливы. Металл, заливаемый в металлическую форму, охлаждается быстрее, чем при литье в песчаные формы, вследствие чего повышается возможность появления внутренних напряжений в отливке. Поэтому нельзя допускать в отливках резких переходов от толстой стенки к тонкой и острых углов. Радиусы галтелей должны быть в 1,5 раза больше, чем радиусы при литье в песчаные формы. Жидкий сплав, протекая по металлической форме, охлаждается интенсивно и теряет жидкотекучесть, поэтому при литье в кокиль минимальная толщина стенок должна быть больше.

Для стальных сплавов конструктивные размеры отливок при литье в металлические формы должны быть следующими: наружный уклон стенок от высоты 0,4 %, внутренний — 2–6 %; минималь-

ный диаметр отверстия — 8 мм; максимальная непроходная глубина отверстия — 3 мм, проходная — 4 мм. При изготовлении отливок из стали и стальных сплавов минимальная толщина стенки отливки при литье в кокиль должна быть 6,0–25 мм, а при литье под давлением — 1,5–4,0 мм.

## 2.7. Центробежное литье

При данном способе литья отливки получают свободной заливкой во вращающиеся формы. Отливки формируются под действием центробежных сил. Центробежные силы отбрасывают заливаемый металл к стенкам формы, где он затвердевает, образуя пустотелую отливку. Центробежным литьем в промышленности получают стальные кольца, трубы и др.

При этом способе литья исключается применение стержней для образования полостей цилиндрических отливок. Отливки отличаются большой плотностью и высокими механическими свойствами. Центробежным литьем можно получить тонкостенные отливки из сплавов с низкой жидкотекучестью.

К недостаткам центробежного литья относятся трудность получения качественных отливок из ликвирующих сплавов и невозможность выполнения отверстий в отливках точных размеров. Размеры отверстий отливок зависят от количества залитого в форму металла.

Формы приводят во вращение специальными машинами, называемыми центробежными. В зависимости от расположения оси вращения формы в пространстве различают машины с горизонтальной и вертикальной осями вращения.

На машинах с горизонтальной осью вращения отливки получают со стенками равномерной толщины по длине и в поперечном сечении. На них отливают короткие и длинные трубообразные отливки. Металл из ковша заливают в форму через желоб. Попадая на внутреннюю стенку вращающейся формы, жидкий металл образует вокруг нее полую цилиндрическую отливку, которую после затвердевания извлекают из формы. Для центробежных машин изготавливают металлические формы. Иногда металлические формы облицовывают формовочной смесью.

В машинах с вертикальной осью вращения металл из ковша за­ливают в форму, укрепленную на шпинделе, который вращается от электродвигателя. Металл центробежной силой прижимается к боковой цилиндрической стенке, образуя возле нее жидкий кольце­вой слой. Форма вращается до полного затвердевания металла, после чего ее останавливают и извлекают отливку. При вертикальной оси вращения формы отливки имеют параболическую внутреннюю поверхность. Толщина верхней части отливки меньше, чем нижней части, так как при вращении формы часть металла стекает вниз. Этим методом литья получают отливки небольшой высоты.

## 2.8. Порядок выполнения чертежа отливки

Основой для разработки технологического процесса изготовле­ния отливки является чертёж детали. На чертеж детали в соответ­ствии с ГОСТ 3.1125–88 наносят технологические указания, необхо­димые для изготовления модельного комплекта, формы и стержня, и получают чертёж отливки с модельно-литейными указаниями.

На рис. 3 в качестве примера приведены эскизы стальной (*a*) и чугунной (*б*) деталей. Поверхности деталей, подвергающиеся меха­нической обработке, условно обозначаются знаком  $\nabla$ . Остальные поверхности механической обработке не подлежат, на что указывает знак  $\nabla(\nabla)$  в правом углу эскиза.

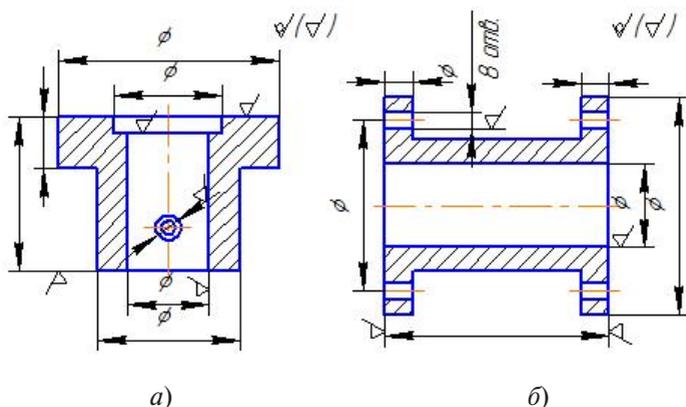


Рис. 3. Эскизы деталей: *a* – стальной; *б* – чугунной

При разработке эскиза отливки с литейно-модельными указаниями на эскиз детали условно наносят следующие данные (рис. 4).

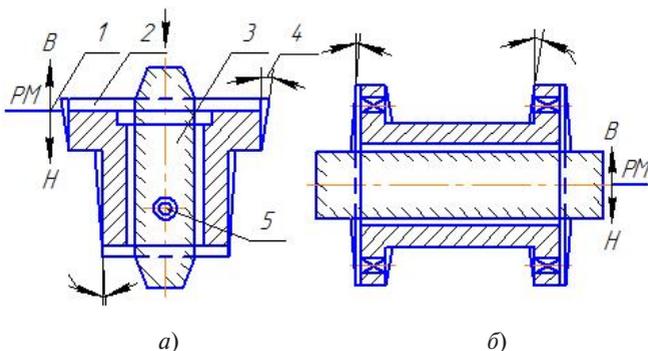


Рис. 4. Эскизы отливок: *a* – стальной; *б* – чугунной;  
 1 – разъем модели; 2 – припуск на механическую обработку; 3 – стержень;  
 4 – формовочные уклоны; 5 – необрабатываемые отверстия

1. Плоскость разреза модели и формы (1), их показывают отрезком, над которым указывается буквенное обозначение разреза РМ. Направление разреза показывается сплошной основной линией, ограниченной стрелками и перпендикулярной линии разреза. Положение отливки в форме при заливке обозначается буквами В (верх) и Н (низ). Буквы проставляются у стрелок, показывающих направление разреза.

При выборе плоскости разреза наиболее ответственные поверхности отливки целесообразно располагать в нижней части формы или вертикально, так как в верхней части отливки скапливаются дефекты – газовые раковины и шлаковые включения. Плоскость разреза выбирают с учетом удобства формовки и извлечения модели из формы. Кроме того, желательно, чтобы отливка или, по крайней мере, её базовые поверхности для механической обработки были расположены в одной полуформе.

2. Припуски на механическую обработку (2), их обозначают сплошными тонкими линиями у поверхностей, где указан знак обработки  $\surd$  (допускается выполнять линию припуска красным карандашом). Величины припусков определены ГОСТ 26645–85 и при единичном производстве выбираются по III классу точности

в зависимости от способа литья, материала отливки, положения обрабатываемой поверхности при заливке (верх, низ, бок), наибольшего габаритного и номинального размера отливки (табл. 2.1, 2.2).

Более подробно припуски и допуски на размеры отливок представлены в прил. 5.

Под номинальным размером отливки подразумевается расстояние между двумя противоположными обрабатываемыми поверхностями или расстояние от установочной базовой поверхности до обрабатываемой.

3. Отверстия, впадины, выемки, не выполняемые при литье, зачёркивают сплошными тонкими линиями (5), которые допускается выполнять красным карандашом.

Таблица 2.1

Припуски на механическую обработку отливок из серого чугуна по III классу точности в мм (ГОСТ 26645–85)

Наибольший габаритный размер детали в мм	Положение поверхности при заливке	Номинальный размер в мм				
		До 50	51–120	121–260	261–500	501–800
До 120	Верх,	3,5	4,5			
	низ, бок	2,5	3,5			
121–260	Верх,	4,0	5,0	5,5		
	низ, бок	3,0	4,0	4,5		
261–500	Верх,	4,5	6,0	7,0	7,0	
	низ, бок	3,5	4,5	5,0	6,0	
501–800	Верх,	5,0	7,0	7,0	8,0	9,0
	низ, бок	4,0	5,0	5,0	6,0	7,0

4. Контуры стержня со стержневыми знаками (3) изображаются сплошной тонкой линией, которую допускается выполнять синим цветом. Стержни в разрезе штрихуются только у контура.

Размеры знаков стержней и зазоры между знаками стержней и модели принимаются по ГОСТ 3606–80.

5. Формовочные уклоны (4) на вертикальных стенках обозначаются тонкими линиями и выбираются в зависимости от высоты отливки от плоскости разъёма (табл. 2.3).

Таблица 2.2

Припуски на механическую обработку фасонных отливок из стали по III классу точности в мм (ГОСТ 26645–85)

Наибольший габаритный размер детали в мм	Положение поверхности при заливке	Номинальный размер в мм				
		До 120	121–260	261–500	501–800	801–1250
До 120	Верх,	5				
	низ, бок	4				
121–260	Верх,	5	6			
	низ, бок	4	5			
261–500	Верх,	6	8	9		
	низ, бок	5	6	6		
501–800	Верх,	7	8	10	11	
	низ, бок	5	6	7	7	
801–1250	Верх,	9	10	11	12	13
	низ, бок	6	7	8	8	9

Таблица 2.3

Формовочные уклоны на отливках по ГОСТ 3212–80

Высота отливки от плоскости разъёма, мм	Величина уклона		Высота отливки от плоскости разъёма, мм	Величина уклона	
	град.	мм		град.	мм
До 20	3°	1,0	201–300	0° 30'	2,5
21–50	1° 30'	1,3	301–800	0° 30'	4,5
51–100	1°	1,5	801–2000	0° 20'	9,0
101–200	0° 45'	2,0	св. 2000	0° 15'	11,0

Помимо этих обозначений указывается процент усадки сплава, из которого изготавливают отливку, наносится литниковая система, прибыли, выпоры, которые на рассматриваемом эскизе для простоты не указаны.

На рис. 4, б приведён эскиз чугунной отливки с модельно-литейными указаниями. Для этой отливки используется горизонтальный стержень, имеющий цилиндрические стержневые знаки, в отличие от вертикального стержня, у которого стержневые знаки конусные.

6. По эскизам отливок выполняются эскизы моделей (рис. 5). Модели имеют стержневые знаки (они закрашены чёрным цветом), формовочные уклоны для вертикального стержня и радиусы закру-

глений  $r$  в местах перехода стенок. Размеры моделей выполняют с учётом размеров детали, припусков на механическую обработку, формовочных уклонов и усадки сплава, которую выбирают по табл. 2.4.

7. Для изготовления стержней служат стержневые ящики – разъёмные либо неразъёмные. На рис. 6 приведены эскизы стержневых ящиков для вертикального (*а*) и горизонтального (*б*) стержней.

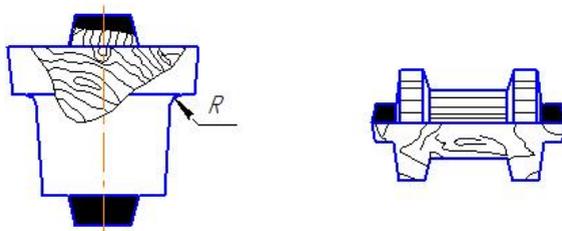


Рис. 5. Эскизы моделей

Таблица 2.4

Линейная усадка литейных сплавов

	Литейный сплав	Линейная усадка, %
1.	Чугун серый	
	– мелкие отливки (не более 100 кг)	1–1,25
	– средние отливки (100–500 кг)	0,75–1,00
	– крупные отливки (более 500 кг)	0,5–0,75
2.	Чугун ковкий	1,5–1,75
3.	Сталь углеродистая	
	– мелкие отливки (не более 100 кг)	1,8–2,2
	– средние отливки (100 – 500 кг)	1,6–2,0
	– крупные отливки (более 500 кг)	1,4–1,8
4.	Бронзы	1,0–1,8
5.	Латуни	1,5–2,0
6.	Алюминиевые сплавы	1,0–1,25

8. Эскизы собранных литейных форм для чугунной (*а*) и стальной (*б*) отливок даны на рис. 7. В форме для чугунного литья имеются шлакоуловитель и выпоры, а в форме для стального литья шлакоуловитель отсутствует, а для компенсации большой усадки стали и предупреждения усадочных раковин предусмотрены прибыли.

9. На рис. 8 приведены эскизы готовых чугунной (а) и стальной (б) отливок с литниковой системой.

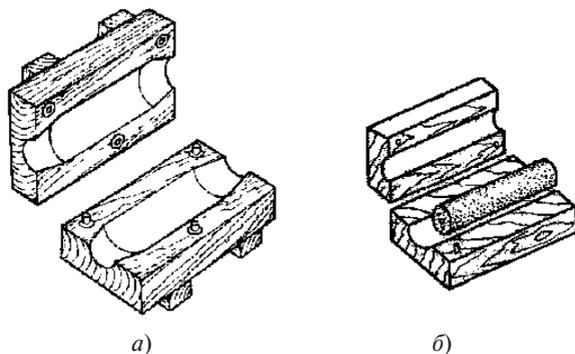


Рис. 6. Эскизы стержневых ящиков: а – для вертикального стержня; б – для горизонтального стержня

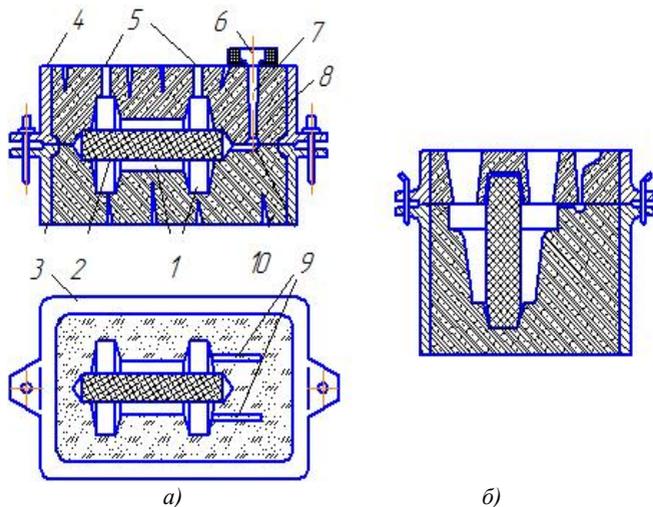


Рис. 7. Эскизы собранных литейных форм:  
 1 – полость формы; 2 – стержень; 3 – нижняя опока;  
 4 – верхняя опока; 5 – выпор; 6 – чаша; 7 – стояк; 8 – шлакоуловитель;  
 9 – питатели; 10 – формовочная смесь

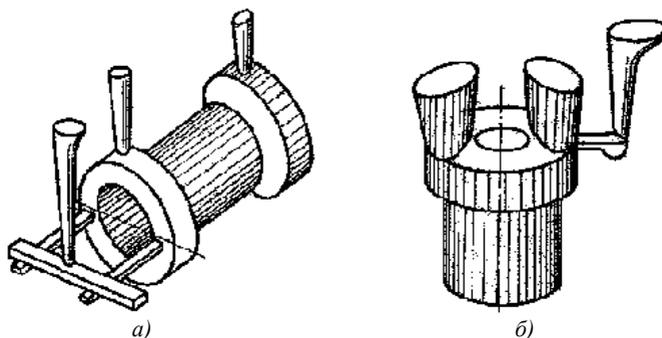


Рис. 8. Эскизы готовых отливок с литниковой системой:  
*а* – отливка из чугуна; *б* – отливка из стали

## 2.9. Термическая обработка и технический контроль отливок из стали

### Термическая обработка отливок

Отливки часто имеют крупное строение зерен, ликвационные включения; в них часто неравномерно распределяются неметаллические включения и легирующие элементы. Все это снижает их механические свойства.

Для улучшения механических и других свойств сплавов отливки подвергают термической обработке.

Академик А.А. Бочвар классифицировал следующие виды термической обработки: отжиг первого рода (включая гомогенизацию, рекристаллизацию, отжиг для снятия внутренних напряжений); отжиг второго рода или перекристаллизацию, включающую нормализацию; закалку, отпуск.

При выборе режима термической обработки руководствуются диаграммами состояния сплавов, а также учитывают технологию изготовления и области применения отливок.

По диаграмме состояния определяют температуру начала рекристаллизации. А.А. Бочвар нашел, что для сплавов, состоящих из твердых растворов, температура рекристаллизации  $T_p = 0,5 \div 0,6$  от температуры плавления  $T$  [ $T_p = (0,5 \div 0,6) T$ ].

Для отливок из стали гомогенизацию не применяют, так как этот вид термической обработки для отливок из цветных сплавов для обеспечения выравнивания химического состава сплава.

Отжиг второго рода изменяет структуру сплавов посредством перекристаллизации. В этом случае нагревают отливки на 30–50 °С выше температуры рекристаллизации, выдерживают при этой температуре и затем медленно охлаждают. В результате такой термической обработки изменяется микроструктура сплава, размельчаются его зерна и более равномерно распределяются неметаллические и другие включения. Выдержка при высоких температурах необходима для выравнивания температуры по сечению отливки.

Большое значение имеет скорость охлаждения отливок после выдержки их при высоких температурах. Регулируя скорость охлаждения, можно получить грубую или более тонкую структуру с игольчатым, сетчатым или зернистым строением. При больших скоростях охлаждения при прохождении температур рекристаллизации образуется больше центров кристаллизации, а следовательно, и более мелкое строение зерна в отливке. Например, при нормализации (отливка после выдержки при высоких температурах охлаждается на воздухе) образуется более мелкое строение зерна; при закалке (отливка охлаждается в воде, масле или в струе воздуха) – еще более мелкое строение зерен.

Отпуск служит для снятия внутренних напряжений в отливке. В процессе его происходит самопроизвольный процесс распада пересыщенного твердого раствора и тем самым возвращение кристаллической решетки основы сплава в более устойчивое положение. При отпуске отливки нагревают до температуры ниже температуры рекристаллизации, выдерживают при этой температуре и затем медленно охлаждают.

В зависимости от технологических требований отливки подвергают одному или нескольким видам термической обработки.

## **Контроль брака в отливках. Причины возникновения брака в отливках из стали**

Основными задачами технического контроля являются анализ брака промежуточной или окончательной продукции литейного цеха, определение его вида и принятие мер для устранения. Это осуществляется контролем сырья и материалов, поступающих в производство, модельной и опочной оснастки, мерительного инструмента и технологических процессов на всех участках цеха. Кроме того, проводится пооперационный контроль качества изготавливаемых в цехе полуфабрикатов, контроль готовой продукции, анализ брака и рекламаций.

После очистки отливок их тщательно контролируют с целью обнаружения дефектов. Проверяют также основные размеры продукции и соответствие ее техническим условиям. В соответствии с техническими условиями отливки подвергают специальным испытаниям на герметичность, электропроводность, магнитные свойства.

Бракованной, непригодной к эксплуатации называют такую отливку, которая имеет хотя бы один неисправимый и недопустимый по техническим условиям дефект.

Дефекты литья классифицированы ГОСТом. Выделяют 22 вида дефектов: заливы, коробление, корольки, наросты, недолив, отбел, пригар, газовые и шлаковые раковины, рыхлоты или пористость, спаи, горячие и холодные трещины, ужимы, несоответствие металла стандартам и техническим условиям по химическому составу, микроструктуре и физико-механическим свойствам и др.

Брак может быть вызван несоблюдением технологии, ошибками при конструировании деталей и при проектировании технологического процесса изготовления отливки.

Короблением называется изменение размеров и контуров отливки под влиянием усадочных напряжений. Причинами этого вида брака могут быть нерациональность конструкции отливки, что приводит к образованию внутренних напряжений; неправильный подвод металла, ухудшающий равномерность его остывания. Коробление может вызвать неправильный состав или температура заливаемого металла, вызывающие чрезмерную усадку; неправильный режим охлаждения отливки и недостаточная податливость формы и стержней.

Газовыми раковинами называют пустоты, расположенные на поверхности или внутри отливки. Форма раковины сферическая или округленная, поверхность гладкая блестящая. Раковины могут быть одиночными или расположенными гнездами различного объема. В большинстве случаев раковины обнаруживают при механической обработке.

Газовые раковины появляются в том случае, когда в металле большое содержание газов вследствие плохого качества исходных материалов, неправильного режима плавки или неправильно проведенного модифицирования металла. Пониженная газопроницаемость или повышенная влажность формовочных или стержневых смесей, чрезмерно высокая температура металлических форм, низкая температура заливаемого сплава, не обеспечивающая выхода из него газов, также могут служить причинами образования газовых раковин.

Песчаными раковинами называются открытые или закрытые раковины, полностью или частично заполненные формовочным материалом. Причины такого брака следующие: местное разрушение и засорение форм при сборке, недостаточная прочность формовочной или стержневой смеси или красок, недостаточное крепление выступающих частей формы, слабая или неравномерная набивка формы или стержней.

Усадочными раковинами называют открытые или закрытые пустоты в теле отливки, имеющие шероховатую поверхность с грубокристаллическим строением.

Рыхлотами или пористостью называется крупнозернистое и неплотное строение сплава с наличием межкристаллических пустот большей или меньшей величины.

Причинами брака по усадочным раковинам и рыхлотам могут быть неправильная конструкция отливки, не обеспечивающая равномерного ее охлаждения; недостаточное питание отливки жидким металлом в процессе затвердевания из-за неправильного расположения прибылей, выпоров и литников; чрезмерно высокая температура заливки.

Шлаковыми раковинами называются открытые или закрытые пустоты, полностью или частично заполненные шлаком.

Причины такого брака: окисленная или загрязненная шихта и загрязненные флюсы; нестойкие огнеупоры, способствующие обильному выделению шлаков; небрежная очистка металла от шлака в ковше перед заливкой и небрежная (с пропуском шлака) заливка металла в формы; нераскисленный металл.

Трещинами горячими и холодными называют сквозные и несквозные разрывы или надрывы в стенках отливок. Поверхность излома в горячих трещинах, поскольку они появляются при высоких температурах, всегда окислена. В холодных трещинах поверхность излома совершенно чистая. Трещины обнаруживаются постукиванием, гидропробой и способом магнитной дефектоскопии.

Причинами появления горячих и холодных трещин могут быть неправильная конструкция отливки с резким переходом от толстых к тонким сечениям; острые внутренние углы в отливках; неправильно подготовленный состав формовочной или стержневой смесей и малая податливость их. Причинами могут также служить неправильный режим заливки и термической обработки; удары при отбивке литников или при транспортировке отливок, имеющих большие внутренние напряжения.

Недолив характеризуется тем, что при заливке некоторые части отливки остаются незаполненными. Спай – сквозные или поверхностные с закругленными краями потоки преждевременно застывшего металла. Причинами такого брака являются недостаточное количество металла в ковше; низкая температура сплава при заливке и недостаточная жидкотекучесть его; нерациональная конструкция отливок из-за наличия слишком тонких стенок.

Незначительные дефекты в неотчетственных местах отливок исправляют. В зависимости от характера дефекта, размеров и конфигурации отливки его исправляют одним из следующих способов: заделывают замазкой, пропитывают мастикой, металлизацией, заваркой жидким металлом, ввертыванием пробок, газовой сваркой, электросваркой и термической обработкой.

Раковины на неотчетственной части детали заделывают бакелитовым лаком или замазкой, состоящей из графита и масла.

При недоливе крупных отливок иногда допускается исправление дефектного места наплавкой жидкого металла. Для этого де-

фектную часть тщательно очищают, обкладывают стержнями или формовочной смесью, образующими форму недоливной части, и устраивают приямок для слива металла. Вначале заливают металл для разогрева завариваемой части отливки, затем отверстие заделывают и оставляют металл в форме до остывания. Дефекты отливок в местах, испытывающих большую нагрузку, наиболее надежно исправляют газовой или электрической сваркой. Отливки термически обрабатывают, когда необходимо изменить их твердость, снять внутренние напряжения и в отдельных случаях изменить микроструктуру металла.

## Глава 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОКОВОК

### 3.1. Обработка металлов давлением в современном машиностроении

В современной металлообрабатывающей промышленности обработка металлов давлением является одним из основных способов формообразования деталей машин различного назначения. Примерно 90 % стали и более 55 % цветных сплавов, выплавляемых в России, подвергаются обработке давлением.

Все процессы обработки металлов давлением основаны на способности металлических материалов в твердом состоянии устойчиво изменять форму и размеры под действием приложенных внешних сил, т. е. пластически деформироваться. Обработка металлов давлением существенно отличается от других видов обработки, так как в процессе пластической деформации металл не только приобретает требуемую форму, но и меняет свою структуру (форму и размеры зерен, характер распределения неметаллических включений, возникновение направленности макроструктуры) и физико-механические свойства.

Несмотря на многообразие процессов обработки давлением, их можно объединить в две основные группы – процессы металлургического и машиностроительного производства.

К первой группе относятся прокатка, прессование и волочение, т. е. процессы, в основе которых лежит принцип непрерывности технологического цикла. Продукцию металлургического производства (листы, полосы, ленты, периодический и профильный прокат, трубы, профили, проволоку и т. п.) используют как заготовку в кузнечно-штамповочных и механических цехах и как готовую продукцию для создания различного рода конструкций.

Во вторую группу входятковка, объемная штамповка (горячая и холодная), листовая штамповка и специальные виды обработки давлением (калибровка, раскатка кольцевых деталей, редуцирование, обкатка, раздача и т. д.). Эти процессы обеспечивают получение заготовок изделий (деталей) и готовых деталей, не требующих последующей механической обработки. Возможность использования высоких, сверхвысоких скоростей деформирования, небольшое число

необходимых, относительно несложных технологических операций обуславливают кратковременность технологического процесса, высокую производительность и сравнительно низкую себестоимость получаемой продукции. Кованые и штампованные заготовки (поковки) отличаются высокими механическими свойствами, что обеспечивает надежность и долговечность выпускаемой продукции, поэтому наиболее ответственные, тяжело нагруженные детали машин изготавливают из заготовок, полученных ковкой или штамповкой.

Как указывалось ранее, все процессы обработки металлов давлением основаны на возможности материалов пластически деформироваться. Поэтому обработке давлением могут подвергаться, как правило, те металлы и сплавы, которые обладают необходимым запасом пластичности, обеспечивающим деформирование без нарушения сплошности материала, т. е. без его разрушения. Пластичность не является неизменным, наперед заданным свойством материала – на нее оказывает влияние ряд факторов: химический состав материала, температура и скорость деформации, форма очага деформации и т. п. Создавая соответствующие условия деформирования, можно получить требуемую технологическую пластичность.

В зависимости от температуры и скорости деформации различают холодную и горячую деформации.

Холодная деформация происходит при таких температурно-скоростных условиях, когда в материале протекает только один процесс – упрочнение (или наклеп) металла. В этом случае образуется волокнистая структура, резко повышается прочность и снижается пластичность материала. При холодной деформации может возникнуть преимущественная ориентация кристаллографических осей зерен, образуется так называемая текстура, что является причиной повышения анизотропии механических свойств материала.

Различают два вида анизотропии:

1) начальную (или исходную), существующую до деформирования и объясняющуюся анизотропией свойств монокристаллических материалов; поликристаллические материалы (к ним относятся большинство металлов, подвергаемых обработке давлением) могут быть изотропными вследствие большого числа монокристаллических, хаотично расположенных зерен;

2) вторичную (или деформационную), изменяющуюся или заново возникающую в процессе деформации.

Анизотропия, возникающая в процессе деформации, может оказывать как полезное, так и вредное влияние на свойства материала. Анизотропия механических свойств листовых материалов способствует образованию «фестонов» при получении деталей глубокой вытяжкой, хрупкому разрушению рекристаллизованного тугоплавкого листового металла и другим видам дефектов. Однако механическая анизотропия может противодействовать хрупкому разрушению конструкций; направленность магнитных свойств материалов для трансформаторных сердечников, возникающая в результате прокатки трансформаторной стали, а также зависимость штампуемости листового материала от текстурного упрочнения свидетельствуют о полезном влиянии анизотропии.

Горячая деформация осуществляется при таких температурно-скоростных условиях обработки, когда в материале протекают одновременно два процесса: наклеп и рекристаллизация (упрочнение и разупрочнение), причем скорость разупрочнения равна или выше скорости упрочнения. При горячей деформации улучшаются все механические свойства материала: и прочностные, и пластические, особенно повышается ударная вязкость. После горячей деформации, как правило, микроструктура равноосная, мелкозернистая, макроструктура волокнистая. Образование волокнистой макроструктуры при горячей деформации – полезное явление, особенно при изготовлении ответственных деталей (турбинных дисков, валов, роторов и т. п.). Используя определенные операцииковки (например, осадку, протяжку), можно получить макроструктуру, совпадающую с направлением максимальных напряжений в детали при ее эксплуатации.

Современное машиностроение в условиях развивающейся технической революции характеризуется быстрым ростом масштабов производства и производительности труда при все более строгой оптимизации применяемых конструктивных и технологических решений.

Оптимизация конструктивных и технологических решений, в свою очередь, дает толчок к созданию так называемого конструктивного и технологического множества, без чего невозможен выбор оптимальных решений в разнообразных условиях производства.

Поэтому насыщение производства большим числом новых и совершенствование существующих технологических процессов является характерным условием развития современного машиностроения. Особенно ярко это обстоятельство проявляется в области обработки металлов давлением, для которой в настоящее время насчитывается около 400 способов объемного формообразования.

Рассмотрим основные способы получения штучных заготовок.

### 3.2. Прокатка

Во многих случаях, когда требуются высокие прочность и пластичность, применяют заготовки из сортового и специального проката. В процессе прокатки нагретые до температуры деформирования литые заготовки подвергают многократному обжатию в валках прокатных станов, в результате чего значительно повышается плотность материала за счет «залечивания» литейных дефектов – пористости, микротрещин и т. п. Это придает заготовкам из проката высокие прочность и герметичность даже при небольшой их толщине.

При *поперечно-винтовой прокатке в винтовых калибрах* непрерывное формообразование осуществляется путем перемещения обрабатываемого тела между вращающимися валками, на поверхности которых по винтовой линии нарезаны ручьи (рис. 9). В результате этого длинная цилиндрическая заготовка, двигаясь непрерывно, деформируется на небольшом участке в относительно короткие тела вращения заданной конфигурации. Таким способом получают, в частности, шары.

Исходным материалом для изготовления мельничных шаров служат прутки круглого поперечного сечения из углеродистой стали диаметром на 1–3 мм меньше диаметра шара, а для получения заготовок шаров подшипников качения – прутки из стали ШХ15.

Передний конец предварительно нагретой заготовки толкателем подается в непрерывно вращающиеся валки. Высота винтовой реборды валков от начала калибра плавно увеличивается, вследствие чего заготовка, захваченная валками, продвигаясь вдоль оси калибра, постепенно обжимается, приобретая форму шара, соединенного перемычкой с остальной заготовкой. Затем шар отделяется

от заготовки и обкатывается в калибре. При этом поверхность шара проглаживается, а остаток перемычки закатывается и из валков выбрасывается полностью сформованный шар.

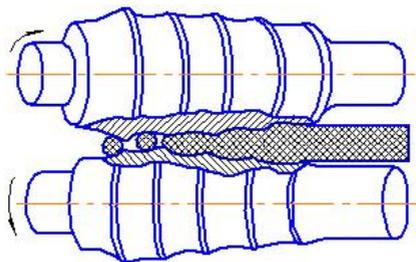


Рис. 9. Схема поперечно-винтовой прокатки

Прокатанные заготовки шаров имеют точную форму, а их диаметры изменяются в пределах 0,2–0,3 мм. Точные размеры, хорошее качество поверхности и малая глубина обезуглероженного слоя позволяют сократить припуск на шлифование шаров до 0,5–0,7 мм на сторону.

Прокаткой в винтовых калибрах можно получать не только шары, но и другие тела вращения, например втулки, иглы для игольчатых подшипников.

Прокатка цилиндрических изделий в винтовых калибрах находит применение и при получении заготовок, используемых в автоматических линиях, особенно для изделий из хрупких или очень пластичных материалов, когда традиционные способы резки мерных заготовок не могут обеспечить ровные торцы в заготовках.

Круглые изделия с переменным по длине диаметром применяются во многих отраслях машиностроения. К таким изделиям относятся полуоси, валы, шпиндели и т. п. Обычные способы изготовления заготовок этих деталей токарной обработкой или штамповкой вызывают большие потери металла (до 25–35 %) в стружку или на заусенцы и в то же время являются малопроизводительными. Наиболее целесообразным способом получения заготовок для таких деталей является поперечно-винтовая прокатка на трехвалковых станах. Этот способ состоит в том, что три приводных валка 1 (рис. 10) вращают заготовку 2, которая принудительно перемещается в осевом

направлении со значительным натяжением, создаваемым натяжным устройством через свободно вращающийся патрон 3, захватывающий передний конец заготовки.

Во время прокатки валки сближаются и разводятся на требуемый размер гидравлической следящей системой в соответствии с заданным профилем сменной копирующей линейки или путем числового программного управления по заранее заданной программе.

На трехвалковых станах можно получать прокат, имеющий любую форму, состоящую из соосно расположенных цилиндрических, конических, сферических или других поверхностей вращения. Трехвалковые станы имеют сравнительно малые установочные мощности, занимают меньше производственной площади, проще в эксплуатации и при ремонте.

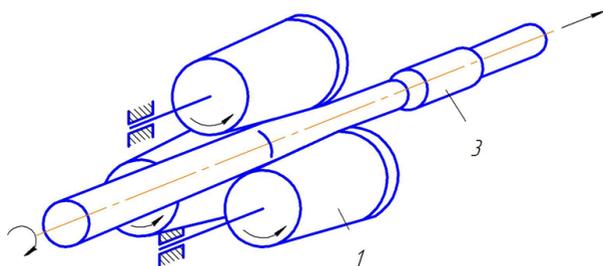


Рис. 10. Схема стана для поперечно-винтовой прокатки профилей круглого сечения

По сравнению с другими способами получения аналогичных деталей поперечно-винтовая прокатка профилей переменного сечения имеет следующие преимущества:

- экономию металла до 15–30 %;
- возможность полной механизации и автоматизации процесса получения заготовок, начиная от загрузки заготовок в приемную часть нагревательного устройства до получения готового периодического проката;
- переход от одного профиля заготовки к другому без замены валков, только за счет смены копира или программы (это позволяет прокатывать широкий сортамент заготовок при малом парке инструмента);

- простоту в переналадке стана к выпуску нового типоразмера проката (это дает возможность использовать способ для получения заготовок в условиях мелкосерийного производства);
- низкую стоимость и малый расход инструмента при изготовлении деталей по сравнению со штамповкой.

Примеры параметров сортаментов сталей и примеры их обозначения приведены в прил. 7.

### **3.3. Ковка**

Ковка возникла еще в бронзовый век, когда вручную получали сначала изделия из меди, а затем из самородного метеоритного железа. С развитием металлургии бронзы и железа ковка получила широкое распространение. В настоящее время область примененияковки сокращается, но в ряде случаев ковка по-прежнему остается наиболее экономичным способом получения деформированных заготовок.

При ковке формоизменение происходит вследствие течения металла в стороны, перпендикулярные к движению деформирующего инструмента-бойка. Применяемый при ковке инструмент создает значительное сопротивление течению металла при деформировании, что и отличает ковку от других видов обработки давлением, причем это течение ограничено лишь трением на контактной поверхности инструмент – деформируемый металл.

Применениековки для получения заготовок объясняется рядом ее преимуществ по сравнению с другими видами обработки:

1) возможность изготовления крупногабаритных поковок массой несколько сотен тонн, получение которых другими способами невозможно, причем при обработке таких поковок используется сравнительно маломощное оборудование, так как обработка ведется деформированием отдельных участков заготовки;

2) применение универсального оборудования и универсальной оснастки позволяет получать поковки широкого ассортимента;

3) в процессековки значительно улучшается качество металла, повышаются его механические свойства, особенно пластичность и ударная вязкость.

Основные недостаткиковки следующие: низкая производительность, значительная трудоемкость изготовления поковок, особенно на прессах; большие напуски, припуски и допускаемые отклонения размеров поковки, что приводит к увеличению объема механической обработки и расхода металла.

Ковка является рациональным и экономически выгодным процессом получения качественных заготовок с высокими механическими свойствами в условиях мелкосерийного и единичного производств. Ковкой изготавливают самые разнообразные поковки, масса которых находится в пределах от нескольких десятков граммов до сотен тонн. Наиболее ответственные детали, такие как валы и диски турбин, роторы, коленчатые валы судовых двигателей, барабаны котлов высокого давления и т. п., к которым предъявляются высокие требования по качеству металла и механическим свойствам, изготавливают из поковок.

Ковка осуществляется при температурах горячей деформации, поэтому для такого вида обработки применяют все стали и сплавы, используемые при обработке металлов давлением. Шероховатость поверхности поковок, полученных ковкой, не превышает  $R_z = 80\text{--}320$  мкм. При использовании подкладных штампов шероховатость поверхности поковок может быть доведена до  $R_z = 80/40$  мкм. Коэффициент весовой точности поковок не превышает 0,3–0,4, что вызывает большой объем механической обработки. Поэтому в условиях мелкосерийного производства целесообразно применять несложные подкладные штампы, групповую или секционную штамповку. Для снижения расхода металла при партиях более 30–50 поковок одного наименования рекомендуется применять подкладные открытые или закрытые штампы (рис. 11). В этом случае возможно получение без напусков поковок относительно сложной формы с припусками и допусками примерно на 15–20 % ниже, чем при ковке на универсальном инструменте. Подкладные штампы можно применять для получения поковок массой до 150 кг, но преимущественно подкладные штампы применяют для поковок массой до 10–15 кг.

Как видно из данных, приведенных на рис. 11, применение подкладного штампа позволило повысить коэффициент весовой точности и улучшить качество поковки за счет более рационального

распределения металла, уменьшить объем механической обработки и снизить стоимость получения готовой детали.

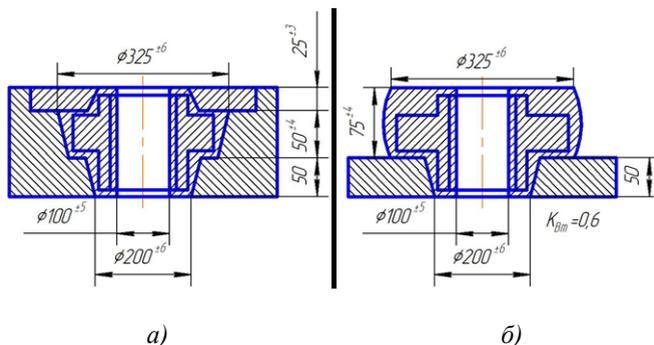


Рис. 11. Поковки, получаемые ковкой (а) и в подкладных штампах (б)

### 3.4. Горячая объемная штамповка

Этот способ наиболее распространен для получения качественных заготовок. Горячей объемной штамповкой получают заготовки для ответственных деталей автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных машин, железнодорожных вагонов, самолетов, металлообрабатывающих станков, швейных машин и т. д. Более 65 % массы всех поковок и до 20 % массы деталей большинства машин изготавливаются из заготовок, полученных горячей объемной штамповкой. Этот способ штамповки наиболее эффективен при массовом, крупносерийном и серийном производствах деталей массой от нескольких граммов до нескольких тонн (примерно до 3 т). Наиболее целесообразно изготовление штамповкой поковок массой не более 50–100 кг.

По сравнению с ковкой горячая объемная штамповка имеет следующие преимущества:

- поковки, изготавливаемые штамповкой, имеют более сложную форму и лучшее качество поверхности; шероховатость поверхности  $R_z = 20–80$  мкм, а при применении холодной калибровки  $R_z = 1,6–10$  мкм;

- поковки можно получать со значительно меньшими допусками, чем при ковке, а при точной штамповке допуски можно довести

до долей миллиметра и подвести под классы точности, получаемые при обработке резанием; припуски снижаются в два-три раза (как правило, механической обработке подвергаются только сопрягаемые поверхности);

- значительно повышается производительность труда (десятки и сотни поковок в час);

- за счет наличия в конструкции штамповочного оборудования выталкивателей штамповочные уклоны значительно меньше, чем при получении штамповок на молотах.

К недостаткам горячей объемной штамповки относятся:

- ограничения по массе получаемых поковок;
- дополнительный отход металла в заусенец, масса которого составляет от 10 до 30 % от массы поковки;
- для горячей объемной штамповки требуются большие усилия деформирования, чем дляковки;
- инструмент (штамп) является более сложным и дорогим, чем универсальный инструмент (штамп) дляковки.

Горячая объемная штамповка подразделяется на различные виды в зависимости от типов штампа, оборудования исходной заготовки, способа установки заготовки в штампе и т. п. Остановимся только на факторах, которые определяют конфигурацию поковки и точность ее изготовления, т. е. на типах штампов и оборудования.

В зависимости от оборудования имеются следующие виды объемной штамповки: на штамповочных паровоздушных молотах двойного действия, кривошипных горячештамповочных прессах (КГШП), горизонтально-ковочных машинах (ГКМ), гидравлических прессах, высокоскоростных молотах и на специальных машинах (ковочные вальцы, горизонтально-гибочные машины – бульдозеры, ротационно-обжимные и радиально-обжимные машины, электровысадочные машины, раскатные машины).

Для изготовления одних и тех же деталей применяют различное оборудование, при этом можно значительно изменять конфигурацию поковки, размеры припуска и допуска, напуски и точность изготовления.

В зависимости от типа штампа штамповка подразделяется на следующие виды: в открытых штампах (рис. 12, а); в закрытых штампах (рис. 12, б); в штампах для выдавливания.

Перечисленные типы штампов применяют практически при штамповке на всех типах оборудования. Вид штампа определяет течение металла, т. е. конфигурацию поковки, поэтому данную классификацию штамповки можно считать основной.

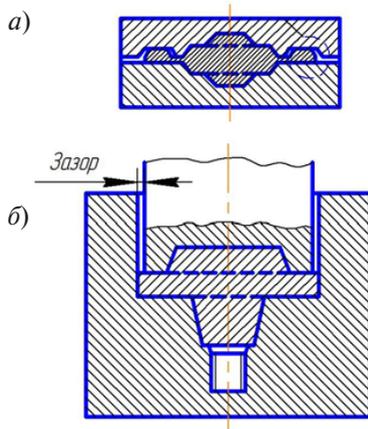


Рис. 12. Схема открытой (а) и закрытой (б) штамповки

**Штамповка в открытых штампах** характеризуется тем, что штамп в процессе деформирования остается открытым (рис. 13, а). Зазор между подвижной и неподвижной частями штампа является переменным, в него затекает (выдавливается) металл при деформировании, образуя заусенец, т. е. технологический припуск, размеры которого рассчитывают при проектировании технологии в зависимости от размеров поковки. Основное назначение этого заусенца — компенсация колебаний исходных заготовок по массе. Этот тип штампа можно применять для деталей любой конфигурации. Однако наличие заусенца увеличивает расход металла, кроме того, для обрезки заусенца необходимо применение специальных обрезных прессов и штампов.

При **штамповке в закрытых штампах** штамп в процессе деформирования остается закрытым, т. е. металл деформируется в закрытом пространстве (рис. 13, б). Зазор между подвижной и неподвижной частями штампа в процессе деформирования остается постоянным и незначительным по размеру — он только предохраняет штамп от

заклинивания. Отсутствие заусенца сокращает расход металла, отпадает необходимость в обрезных прессе и инструменте. Однако этот тип штампа применяется для сравнительно простых деталей, в основном тел вращения. Кроме того, отсутствие заусенца вызывает необходимость использовать точные заготовки из калиброванного проката или предварительно механически обработанные.

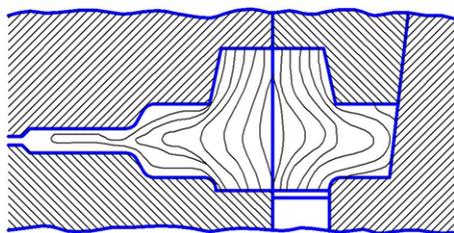


Рис. 13. Схема расположения волокон металла при открытой (а) и закрытой (б) штамповке

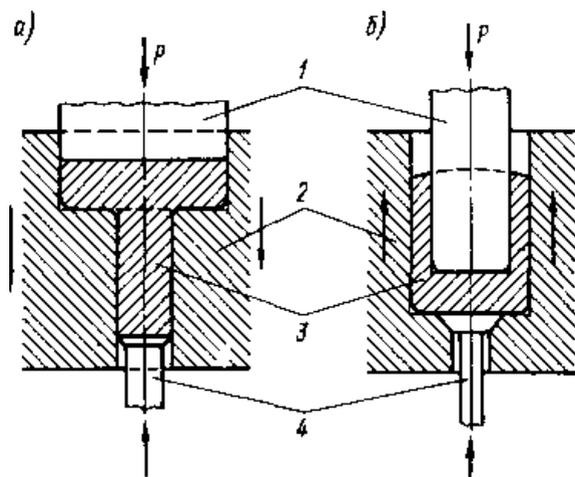


Рис. 14. Схемы штамповки выдавливанием: а – прямое; б – обратное; 1 – пуансон; 2 – матрица; 3 – поковка; 4 – выталкиватель

Сопоставляя качество макроструктуры поковок, отштампованных в открытых и закрытых штампах, необходимо отметить, что при закрытой штамповке макроструктура более качественная, так как процесс образования поковки в полости штампа протекает без на-

рушения сплошности волокон, при обрезке заусенца после открытой штамповки волокна оказываются перерезанными, что снижает прочность детали.

Значения припусков и допусков на размеры поковок приведены в прил. 6.

### **3.5. Выдавливание**

**Штамповка в штампах для выдавливания** – наиболее прогрессивный технологический процесс горячей штамповки. При использовании штампов для выдавливания значительно снижается расход металла (до 30 %), повышается коэффициент весовой точности, поковки получаются точные, максимально приближающиеся по форме и размерам к готовым деталям, производительность труда увеличивается в 1,5–2,0 раза.

Для выдавливания наиболее целесообразны следующие типы поковок: стержень с фланцем, клапаны двигателей, полые детали типа стаканов и т. п. Схемы штамповки в штампах для выдавливания приведены на рис. 14, где стрелками указано течение металла. Этим способом можно получать детали из углеродистых и легированных сталей, алюминиевых, медных и титановых сплавов. Поковки, изготовленные выдавливанием, имеют высокое качество поверхности, плотную микроструктуру. Точность поковок может соответствовать 12-му качеству точности. Это достигается в результате тщательной подготовки исходных заготовок под штамповку, а также высокой точности изготовления и наладки штампов использованием специальных смазок.

Основное преимущество процесса выдавливания перед штамповкой в открытых штампах – получение поковок с точными размерами и чистой поверхностью.

Основные недостатки – высокие удельные усилия деформирования, большие энергозатраты на реализацию процесса и низкая стойкость штамповой оснастки.

Выбор штампа – открытый, закрытый или для выдавливания определяется, во-первых, конфигурацией и сложностью детали, во-вторых, ее массой и материалом, в-третьих, характером произ-

водства. Следует учитывать также и существенные различия в макроструктуре материала поковок, полученных в различных штампах. Макроструктура материала детали определяет ее прочность и долговечность, поэтому указанное обстоятельство должно учитываться при выборе технологического процесса получения штампованной заготовки.

### **3.6. Рекомендации по проектированию чертежа поковки на процессы объемной штамповки**

При разработке чертежа детали, получаемой горячей объемной штамповкой, необходимо учитывать реализацию всех возможностей этого процесса. Прежде всего это относится к качеству поверхности. Следует также принимать во внимание требования, предъявляемые особенностями процесса объемной штамповки, к геометрической форме и размерам детали. В некоторых случаях необходимо проверить возможность и рациональность изменения конструкции отдельных ее элементов (без ущерба для качества и эксплуатационных характеристик) для упрощения конфигурации поковки в целях облегчения заполнения полости ручья штампа.

Общие конструктивные требования к деталям, изготавливаемым горячей объемной штамповкой, следующие.

1. Сопряжения необрабатываемых поверхностей должны быть оформлены радиусами, которые необходимы как для улучшения условий заполнения металлом полостей штампа (внутренние радиусы), так и для повышения стойкости штампов (наружные радиусы). Радиусы регламентированы ГОСТ 7505–74\*.

2. На необрабатываемых поверхностях, перпендикулярных к плоскости разреза штампа, следует предусматривать штамповочные уклоны, необходимые для свободного удаления поковки из полости штампа. Штамповочные уклоны зависят от типов штампа и оборудования и должны быть в пределах от 1 до 10°.

3. При штамповке на прессах штамповочные уклоны уменьшаются, так как конструкция прессов позволяет применять специальные приспособления-выталкиватели, предназначенные для принудительного извлечения поковки из полости штампа. При штамповке

на горизонтально-ковочных машинах благодаря наличию подвижной разъемной матрицы штамповочные уклоны еще меньше.

Допускаемые отклонения размеров поковок на необрабатываемые поверхности назначают в соответствии с ГОСТ 7505–74\*.

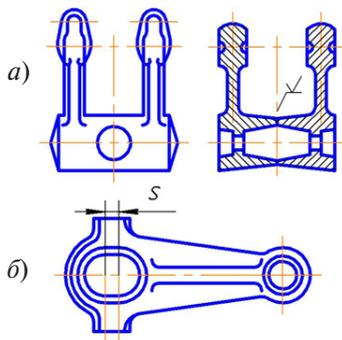


Рис. 15. Схема упрощения конструкции поковки:  
*а* – ликвидирующих сплавов за счет разделения детали; *б* – за счет объединения двух деталей в одной поковке (*S* – толщина реза)

Для упрощения конструкции поковки, повышения и улучшения условий заполнения гравюры штампа в отдельных случаях целесообразно разделять деталь на две или большее число частей, штампуемых порознь, которые впоследствии соединяются сваркой или иным способом (рис. 15, *а*), в других случаях, наоборот, целесообразно объединение различных деталей в одну (рис. 15, *б*).

К важным технологическим требованиям, предъявляемым к конструкции штампуемых деталей, относится возможность правильного выбора плоскости разреза штампа. Деталь технологична для горячей объемной штамповки, если ее конструкция обеспечивает легкое извлечение поковки из полости штампа без существенного упрощения формы детали за счет дополнительного металла – напуска. Влияние

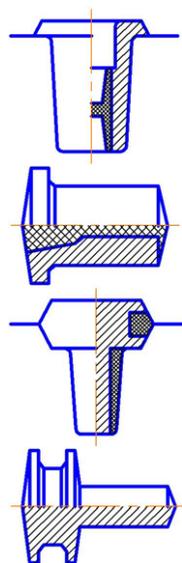


Рис. 16. Влияние положения плоскости разреза на форму поковок

положения плоскости разреза на форму поковок дано на рис. 16. Двойной штриховкой показаны объемы металла, необходимые для упрощения формы детали и обеспечения получения качественной поковки. При изменении плоскости разреза штампа необходимо оценивать объем заусенца, удаляемого после штамповки, и напуски, назначаемые для упрощения формы поковки.

В некоторых случаях положение плоскости разреза определяется макроструктурой поковки. Например, при штамповке шестерен плоскость разреза штампа всегда должна быть перпендикулярна к оси детали. В этом случае макроструктура получается одинаковой у всех зубьев шестерни и обеспечивает их высокую прочность. На рис. 17 показан выбор положения разреза штампа по условиям работы детали.

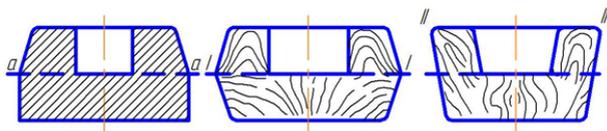


Рис. 17. Схема к выбору плоскости разреза с учетом условий работы детали

Если деталь работает на срез по линии  $a-a$ , то волокна металла должны располагаться перпендикулярно к линии среза (положение плоскости разреза  $II-II$ ). Положение плоскости разреза  $I-I$  в данном случае нежелательно.

При выборе плоскости разреза штампа необходимо учитывать условия захвата и базовые поверхности при механической обработке. При прочих равных условиях правильный разъем штампа должен обеспечивать зажим поковки по цилиндрической части и одинаковый припуск вдоль направления обработки резанием, т. е. напуски должны быть расположены по «черным» необрабатываемым поверхностям поковки.

Отступление от технологических требований, предъявляемых к конструкции штампованных деталей, неизбежно приведет к увеличению себестоимости заготовок из-за повышения затрат на материалы, механическую обработку и процента брака.

При разработке чертежа поковки пользуются ГОСТ 7505–74\*, данные которого распространяются на штампуемые детали массой

до 400 кг, изготавливаемые горячей объемной штамповкой из черных металлов на различных видах штамповочного оборудования.

Припуски на механическую обработку предусматривают в том случае, если качество поверхностного слоя поковки не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к готовой детали. Припуски назначают либо по всей поверхности детали, либо на отдельные ее элементы, допускаемые отклонения – на все размеры поковки, независимо от наличия и назначения припуска. Допускаемые отклонения на размеры штампованных поволоков двусторонние, несимметричные и включают все отклонения от номинальных размеров поковки. Причины этих отклонений следующие: недоштамповка по высоте; износ и неполное заполнение гравюры штампа; поверхностные дефекты материала; колебания объема исходной заготовки; неравномерная усадка материала при охлаждении.

При определении припусков и допускаемых отклонений размеров необходимо определить массу поковки, категорию материала и группу сложности поковки.

Различают две категории материала: М1 – углеродистая и легированная сталь с содержанием углерода до 0,45 % и легирующих элементов до 2 %; М2 – легированная сталь, за исключением указанной в группе М1.

Группу сложности поковки определяют в зависимости от отношения объема поковки  $V_{\text{пок}}$  к объему фигуры в виде цилиндра или прямоугольного параллелепипеда  $V_{\text{фиг}}$ , описанного вокруг поковки, т. е.  $C = V_{\text{пок}}/V_{\text{фиг}}$ .

ГОСТ 7505–74\* предусматривает четыре группы сложности поволоков в зависимости от величины  $C$ : первая группа при  $0,63 \leq C \leq 1,0$ ; вторая – при  $0,32 \leq C < 0,63$ ; третья – при  $0,16 \leq C < 0,32$ ; четвертая – при  $C < 0,16$ .

Чем выше группа сложности поковки, тем менее технологична деталь, больше потери металла при механической обработке, ниже точность поковки.

Все пересекающиеся поверхности поковки сопрягаются по радиусам, все острые кромки на поверхности поволоков необходимо закруглять. Если радиусы закругления не назначены или приняты недостаточными, то в местах их расположения в штампе возника-

ет большая концентрация напряжений, что приводит к быстрому разрушению штампа. Значения наружных радиусов устанавливаются в пределах 1–8 мм в зависимости от массы поковок (до 200 кг). Практически достаточно, чтобы значения для этих радиусов были на 0,5–1 мм больше нормального припуска на механическую обработку поковки, независимо от того, к каким сопрягаемым поверхностям относятся эти радиусы – механически обрабатываемым или нет. Внутренние радиусы закруглений примерно в три раза больше соответствующих наружных радиусов.

Практика штамповки показала, что конструктивные элементы поковок из цветных сплавов отличаются от таких же элементов стальных поковок. Припуски и допускаемые отклонения размеров на поковки из цветных сплавов рекомендуется назначать по ОСТ или ведомственным нормам, например по ОСТ 3-4026–78.

Штампованные поковки из алюминиевых и магниевых сплавов, подвергаемые очистке поверхности травлением, должны изготавливаться с той же точностью, что и поковки, не подвергающиеся механической обработке.

На поковки из титановых сплавов, поверхности которых не подлежат механической обработке, а поверхностный слой металла удаляется травлением, устанавливают дополнительный припуск 0,5 мм. Если же поверхности штампованных поковок подлежат механической обработке, то дополнительный припуск на травление не назначается.

На конфигурацию поковок, получаемых горячей объемной штамповкой, на их точность, объем последующей механической обработки и себестоимость большое влияние оказывает не только тип штампа, но и вид применяемого оборудования.

Разница в принципе воздействия этих машин на деформируемый материал является определяющей. Ударный характер работы штамповочного молота исключает возможность использования выталкивателей, что приводит к значительному расходу металла на штамповочные уклоны и на компенсацию возможного смещения половин штампа относительно друг друга. Производительность труда при штамповке на молотах невысокая, процесс трудно поддается комплексной автоматизации.

**Штамповка на кривошипных горячештамповочных прессах** имеет ряд технологических и эксплуатационных преимуществ по сравнению со штамповкой на молотах. К ним относятся:

- достаточно высокая точность поковок (особенно по высоте);
- при штамповке на молоте пределы допусков 0,8–1,0 мм, а при штамповке на КГШП – 0,2–0,5 мм;
- существенная экономия металла и сокращение объема механической обработки за счет снижения припусков (в среднем на 20–30 %) и штамповочных уклонов (в два-три раза);
- форма поковки более близка к форме готовой детали (рис. 18);
- повышение производительности труда в среднем в 1,4 раза; возможность полной автоматизации процесса;
- КПД прессов в три раза выше, чем у молотов; снижение себестоимости изготовления поковок примерно на 10–30 %.

**Штамповку на молотах** в основном применяют при серийном и крупносерийном производствах поковок массой 0,01–1000 кг, штамповка на КГШП наиболее целесообразна при крупносерийном и массовом производствах деталей сложной формы массой до нескольких сот килограммов.

При оценке эффективности горячей объемной штамповки следует учитывать стоимость штамповой оснастки, так как значительная доля затрат падает на стоимость штампов (в зависимости от характера производства составляет 10–60 % стоимости поковок).

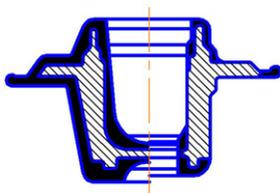


Рис. 18. Схема расположения припусков на механическую обработку при штамповке на молоте (а) и прессе (б)

Молотовые штампы изготавливают цельноблочными, массивными, что приводит к значительному расходу дорогостоящей, сложнолегированной стали; прессовые штампы требуют меньше материала, но сложнее в механической обработке. Затраты на штамповую ос-

настку зависят от стойкости штампов: чем больше выпуск поковок и чем больше стойкость штампов, тем меньше затраты на штампы.

Особенность конструкции **гидравлических прессов** обеспечивает неударный характер работы, однако они значительно тихходнее, дороже и менее производительны, чем штамповочные молоты. Поэтому гидравлические прессы вместо штамповочных молотов применяют только там, где не может быть использован молот: при штамповке крупных штамповок, для которых масса падающих частей самых мощных молотов оказывается недостаточной; малопластичных сплавов, не допускающих больших скоростей деформирования; при различных видах штамповки выдавливанием, где требуется большой ход рабочего инструмента; для штамповки поковок цилиндрической формы типа втулок, стаканов и очень сложных форм в разъемных матрицах. Применение разъемных матриц позволяет получать поковки, по форме и размерам приближающиеся к конфигурации готовых деталей, без заусенца и штамповочных уклонов. Точность размеров таких поковок может достигать 11–12-го квалитетов. Коэффициент использования металла увеличивается с 0,2 до 0,6, трудоемкость механической обработки уменьшается на 15–20 %.

**Фрикционные винтовые прессы** по принципу воздействия на деформируемый металл занимают промежуточное положение между прессом и молотом; их применяют для мелких и средних поковок типа колпачков и стаканчиков, типа стержня с утолщением, например винты и болты, а также для штамповки сложных поковок, требующих разъемных матриц, в частности корпусов вентилялей, тройников деталей трубопроводов.

На фрикционных прессах штампуют поковки из черных и цветных металлов, преимущественно малопластичных, медных и магниевых сплавов. Винтовые фрикционные прессы – тихходные малопроизводительные машины, поэтому их применение ограничено при крупносерийном производстве.

Кривошипные горячештамповочные и винтовые прессы применяют для получения точных поковок шестерен с готовым профилем зуба. Освоены и внедрены в производство технологические процессы штамповки шестерен с прямым и спиральным профилем зуба, с модулем 5 мм и выше. Штамповка конических и цилиндрических

шестерен с готовым профилем зуба имеет место в следующих случаях: для получения готовых шестерен без последующей механической обработки по зубу с параметром шероховатости поверхности  $R_z = 4-20$  мкм, применяемых в сельхозмашиностроении, угольной промышленности и т. д., шестерен с готовым профилем зуба, требующих только чистовой обработки. Припуск по профилю зуба принимают равным 0,6 мм на сторону, а по наружному конусу или диаметру цилиндрической шестерни – 1,5 мм на сторону.

Штампованные шестерни с готовым профилем зуба имеют ряд преимуществ перед шестернями, изготавливаемыми механической обработкой:

1) статическая прочность таких шестерен в среднем на 50 % выше обычных, так как у штампованных зубьев волокна металла расположены вдоль контура зуба, а у фрезерованных зубьев они перерезаны; это увеличение прочности зубьев позволяет снизить массу и удешевить стоимость машины путем снижения габаритов или замены легированных сталей обычными конструкционными;

2) значительно снижаются расход металла (в среднем на 25–45 %) и общая трудоемкость изготовления шестерен.

Широкое применение для горячей объемной штамповки, особенно для операций высадки, получили **горизонтально-ковочные машины** (ГКМ), представляющие собой механический пресс, расположенный в горизонтальной плоскости. Кроме главного деформирующего ползуна имеется ползун, движение которого перпендикулярно движению главного ползуна, осуществляющего смыкание и размыкание блока матриц. В отличие от штампов молотовых и прессовых штампы для ГКМ имеют два взаимоперпендикулярных разъема и могут быть открытыми и закрытыми. Наличие двух разъемов в штампе создает лучшие условия для выполнения высадочных работ и позволяет получать поковки, как правило, без штамповочных уклонов. Поковки, получаемые на горизонтально-ковочных машинах, обычно имеют форму тел вращения. Типичные образцы поковок, штампуемых на ГКМ, приведены на рис. 19. Данные машины позволяют производить высадку конусов на длинных (до 3 м и более) прутковых и трубных заготовках; получать изделия типа стержня или трубы с головкой значительного объема путем после-

довательной высадки с последующим набором металла головки (рис. 20); штамповать осадкой в торец изделия сложной формы, для изготовления которых необходимо применение разъемных матриц; получать поковки с отверстиями из прутковой заготовки без отходов металла на просечку отверстия.

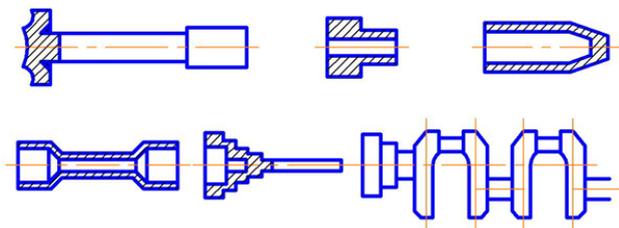


Рис. 19. Типы поковок, штампуемых на ГКМ

Припуски и допускаемые отклонения размеров поковок, штампуемых на ГКМ, определяют по ГОСТ 7505–74\* с учетом тех же факторов, что и при штамповке на молотах или прессах. Поскольку ГКМ обладают меньшей жесткостью, чем кривошипные горячештамповочные прессы, поковки, изготавливаемые на них, по размеру припусков и допусков ближе к молотовым, чем к прессовым.

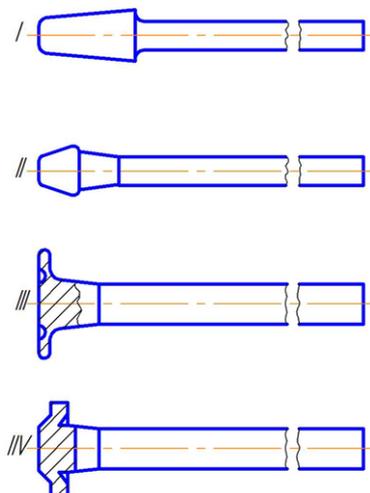


Рис. 20. Схема многоручьевого высадки стержневой детали на ГКМ (I–IV – последовательность операций)

Штамповочные уклоны на участках поковки, формируемых в полости пуансона: наружные –  $15'-1^\circ$ , внутренние –  $30'-2^\circ$ . Для участков, формируемых в матрице, наружные уклоны не предусматриваются, а внутренние составляют  $1-5^\circ$ .

Наружные радиусы закруглений принимают равными размеру припуска на механическую обработку, внутренние – в  $1,5-2$  раза большими.

При сопоставлении штамповки на горизонтально-ковочных машинах со штамповкой на молотах и прессах необходимо учитывать, что номенклатура поволоков для этих машин резко ограничена, масса их сравнительно небольшая (обычно  $30-50$  кг), стойкость штампов ниже, чем у молотов и прессов, стоимость горизонтально-ковочных машин примерно в  $1,5$  раза выше стоимости кривошипных прессов той же мощности. Однако достигаемая экономия металла, возможность получения более сложных и точных поволоков, исключение предварительной операции резки прутков на штучные заготовки делают этот способ экономически целесообразным (рис. 21).

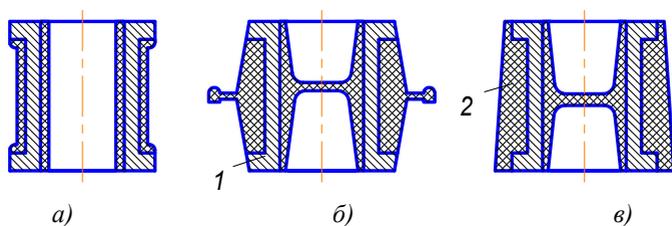


Рис. 21. Формы поволоков при штамповке на ГКМ (а), молоте (б) и прессе (в); 1 – деталь; 2 – припуск на механическую обработку

Все возрастающие требования к экономии материалов, к разработке таких технологических процессов получения заготовок, когда механическую обработку применяют только как доводочную операцию, вызвали появление процессов точной или малоотходной горячей объемной штамповки. Точная горячая объемная штамповка относится к прогрессивным технологическим процессам, обеспечивающим экономию металла, сокращение трудоемкости при механической обработке, повышение качества и надежности деталей. Для более широкого внедрения точной штамповки уже на стадии разра-

ботки изделий конструкторы должны стремиться к тому, чтобы при проектировании деталей предусмотреть больше необрабатываемых поверхностей, даже если при этом несколько повысится стоимость поковок. При точной штамповке размерная точность для стальных поволоков может достигать 12–14-го квалитетов, параметр шероховатости поверхности  $R_z = 20\text{--}40$  мкм, штамповочные уклоны до  $1^\circ$ .

При наличии необрабатываемых поверхностей наиболее полно реализуется преимущество штампованных деталей с их благоприятно ориентированной для условий эксплуатации макроструктурой, плавно огибающей контуры детали и исключаящей надрезы, неизбежные при механической обработке.

Использование машин узкого назначения вместо универсальных при производстве заготовок позволяет во многих случаях значительно снизить трудоемкость, сократить сроки изготовления и улучшить качество деталей. Ниже в общих чертах рассмотрим специализированные процессы, нашедшие за последнее время наибольшее распространение в кузнечно-штамповочном производстве.

**Штамповку на горизонтально-гибочных машинах** применяют для получения заготовок из сортового или полосового материала больших габаритов. Она может осуществляться как в горячем, так и в холодном состоянии. Как правило, изделия, получаемые гибкой, не подвергаются механической обработке, поэтому при конструировании деталей в чертеже следует предусмотреть все необходимые требования для обеспечения точности формы и размеров детали:

- по возможности избегать гибки на ребро;
- обеспечивать внутренние радиусы изгиба максимально возможными;
- незначительные отклонения размеров в результате искажения проката в местах изгиба не учитывать и в чертеже не указывать.

Горизонтально-гибочные машины позволяют осуществлять гибку П-образных (рис. 22, *а*), дугообразных (рис. 22, *б*) и круглых (рис. 22, *в*) деталей.

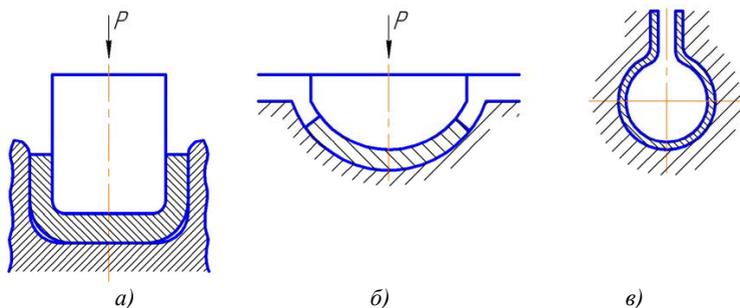


Рис. 22. Схемы гибки на бульдозерах и получаемые профили

### 3.7. Вальцовка

*Вальцовка* представляет собой разновидность процесса прокатки, когда деформирование штучной заготовки производится в секторных штампах ковочных вальцов. Ковочные вальцы относительно просты по конструкции и в эксплуатации, высокопроизводительны. Из мерных заготовок круглого, квадратного или прямоугольного поперечного сечения вальцовкой изготавливают фасонные заготовки удлиненной формы, переменного сечения и, как правило, с прямой осью. Вальцовку применяют для изготовления заготовок под дальнейшую штамповку на прессах или молотах, а также для получения готовых поковок и как отделочную операцию.

Вальцовкой в массовом и крупносерийном производствах изготавливают мелкие и средние поковки переменного сечения и различной формы (например, гаечные ключи, плоскогубцы, звенья транспортеров и т. п.). Поковки получают в «ленте» по несколько штук, расположенных в длину и соединенных между собой заусенцем. Параметр шероховатости поверхности таких поковок  $R_z = 40\text{--}320$  мкм, производительность процесса оценивают тысячами штук в смену.

Отделочную вальцовку применяют для получения профильных заготовок, например турбинных лопаток с припуском на рабочую поверхность до 0,2–0,15 мм, параметром шероховатости поверхности до  $R_z = 6,3\text{--}3,2$  мкм. Обычно такую вальцовку проводят в холодном состоянии, причем получаемые заготовки имеют окончательные размеры по толщине и профилю. Отделочная вальцовка

дает значительный эффект: снижаются расход металла в среднем на 35 %, трудоемкость на 20 %, себестоимость на 35 %.

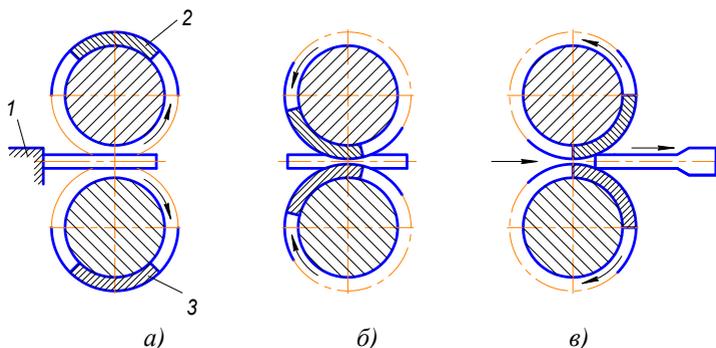


Рис. 23. Схема вальцовки: а–в – стадии вальцовки; 1 – подающий схват; 2, 3 – секторные штампы

### 3.8. Штамповка на радиально-обжимных и ротационно-ковочных машинах

*Штамповку на радиально-обжимных и ротационно-ковочных машинах* осуществляют как в горячем, так и в холодном состоянии, обрабатывая осесимметричные детали с вытянутой осью.

Ротационное деформирование как метод точной обработки изделий получило применение в производстве сравнительно недавно, чему способствовало появление специализированных радиально-обжимных и ротационно-ковочных машин с программным управлением. Изделия, изготавливаемые на этом оборудовании, имеют широкий диапазон размеров диаметра: от 0,15 мм (для прутка) до 600 мм (для трубной заготовки). Эскизы деталей, получаемых ротационным деформированием, приведены на рис. 24.

На радиально-обжимных и ротационно-ковочных машинах можно изготавливать ступенчатые и удлиненные поковки и изделия из жаропрочных и малопластичных сталей и сплавов, сплавов на основе алюминия, а также из металлокерамики и металлопорошков; получать отверстия малых диаметров на относительно большой длине; производить сборочные операции.

Точность и шероховатость поверхности поковок зависят от качества изготовления и геометрии инструмента, режимов обработки. При удовлетворительном сочетании всех факторов можно получить параметры шероховатости поверхности:  $R_z = 0,4-1,6$  мкм при холодной и  $R_z = 2-6,3$  мкм при горячей обработке. В этих случаях обжатие позволяет одновременно заменить точение и шлифование. Точность обработки при холодном обжатии соответствует 6–8-му, при горячем – 11–13-му квалитетам.

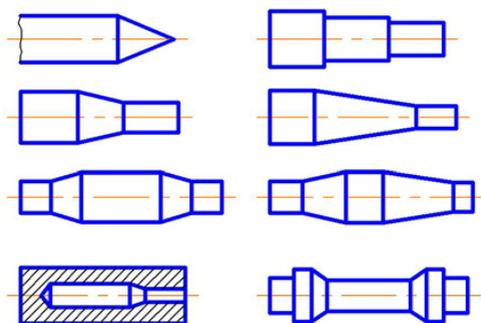


Рис. 24. Эскизы деталей, получаемых ротационным деформированием

В процессе ротационного обжатия улучшается структура металла, повышаются его механические свойства. Повышение прочности изделий после обжатия предопределяет применение этого вида обработки в тех случаях, когда затруднено выполнение термической обработки.

Сущность процесса состоит в следующем: прутковая заготовка подвергается обжатию бойками, движущимися навстречу друг другу, движение бойков у разных конструкций машин осуществляется по-разному; число бойков также может быть различным: два, три, четыре (рис. 25). Число обжатий у различных машин колеблется от нескольких сот до нескольких тысяч в минуту.

Основным преимуществом данного вида обработки является получение поволоков высокой точности с высокой чистотой поверхности. Дальнейшая механическая обработка, за исключением шлифования (в целях достижения необходимой точности) и последующих доводочных операций, является в большинстве случаев излишней.

Прочность изделий увеличивается примерно на 30 %. Процесс позволяет значительно экономить металл. Так, при переводе изделий типа ступенчатых валов со штамповки или механической обработки на горячее обжатие экономия металла достигает 40–60 %. Производительность (по сравнению с токарной обработкой) возрастает в четыре-пять раз. Поэтому перевод изделий с обработки резанием на ротационное обжатие во всех типах производства, кроме единичного, всегда является экономически целесообразным.

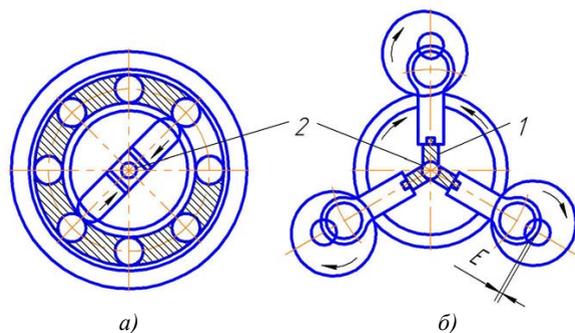


Рис. 25. Схемы ковки на ротационно-ковочной (а) и ротационно-обжимной (б) машинах: 1 — бойки; 2 — поковка; Е — ход бойков

### 3.9. Раскатка и накатка

Процесс *раскатки кольцевых заготовок* получил значительное распространение в промышленности для получения заготовок колец сложного профиля, с поднутрениями, буртами, выточками и т. д.

Раскатка не является самостоятельным процессом обработки металлов давлением, так как исходные заготовки для раскатки обычно получают штамповкой, ковкой, литьем или из труб. Раскатку осуществляют как в горячем, так и в холодном состоянии. В соответствии с габаритными размерами применяемого оборудования раскатке подвергают заготовки с наружным диаметром от 40 до 2000 мм при высоте обрабатываемого обода до 180 мм. На рис. 26 показаны схемы раскатки кольцевых заготовок, на рис. 27 — типы колец, получаемых раскаткой. Допуск на наружный диаметр кольца прини-

мают  $+0,01d$ , на внутренний диаметр  $-0,022d$ , но не более 6 мм. Параметр шероховатости поверхности  $R_z = 10-3,2$  мкм. Основные преимущества процесса раскатки следующие: возможность получить более сложный профиль и более точные размеры, чем при штамповке; обеспечить в заготовке тангенциальное расположение волокон металла, что значительно увеличивает надежность изделий; обеспечить значительную экономию металла, повышение коэффициента весовой точности до  $0,7-0,75$ , сравнительно высокую производительность процесса (250 шт./ч крупных и 500 шт./ч мелких поковок), снижение трудоемкости механической обработки на 20–30 %.

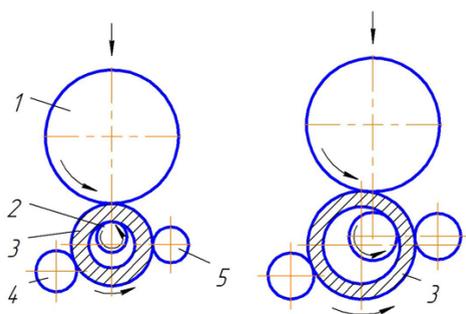


Рис. 26. Схемы раскатки: 1 и 2 – соответственно опорный и обжимной ролики; 3 – раскатываемое кольцо; 4 и 5 – ограничительные ролики

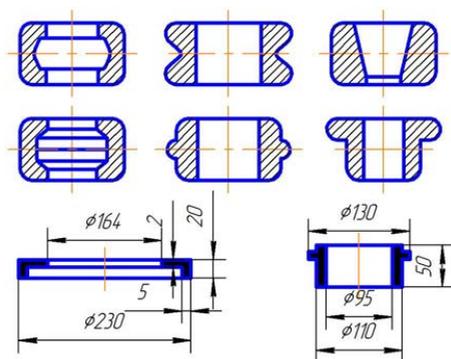


Рис. 27. Типы колец, получаемых раскаткой

Недостаточная производительность (в ряде случаев и точность) шлищефрезерования обусловила возникновение новых методов об-

разования шлицев, в частности пластическим деформированием накаткой, т. е. превращением гладкой поверхности заготовки в ребристую определенного профиля. Этот процесс комбинированный, заготовки под накатку получают либо штамповкой, либо ковкой, в некоторых случаях заготовкой может служить пруток.

Диаметр заготовки под накатку определяют опытным путем. Основным оборудованием являются специальные станы, действующие по принципу поперечной прокатки, с принудительным вращением заготовки и пары накатных валков (рис. 28). Такой способ накатки в основном используют для горячей накатки зубьев колес, шлицев на валах и крупной резьбы. Мелкую резьбу накатывают в механических цехах плоскими плашками или роликами на резьбно-накатных станках.

Штучная накатка зубчатых колес универсальна и при использовании соответствующей оснастки позволяет изготавливать цилиндрические и конические колеса с зубьями прямыми и спиральными.

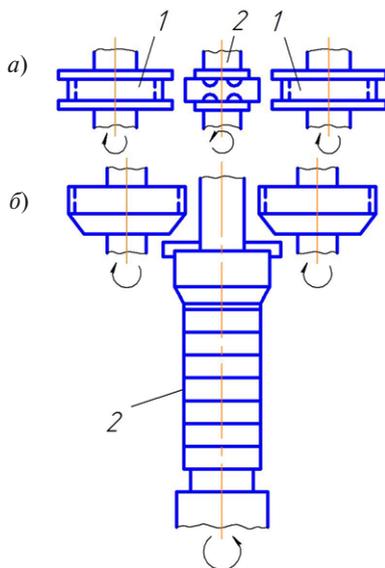


Рис. 28. Схемы накатки: *а* – штучных заготовок; *б* – от прутка; 1 – деформирующий инструмент; 2 – заготовка

Цилиндрические зубчатые колеса диаметром менее 150 мм при модуле не более 3 мм рациональнее обрабатывать стопками. На таком же принципе основано изготовление зубьев шестерен непосредственно от прутка. Зубья наносятся накаткой на поверхность прутка, который в дальнейшем режется на мерные заготовки по высоте; механической обработкой изготавливают отверстия. Накаткой можно получать зубья модулем 8–15 мм на колесах диаметром до 600 мм. Особенно выгодно получать зубья накаткой для крупномодульных шестерен, когда достигают значительной экономии металла.

Предварительная механическая обработка перед накаткой заключается в обработке посадочного отверстия, торцов и наружного диаметра, что позволяет получить профиль накатанного зуба по всем размерам с точностью по 8-му качеству с параметром шероховатости поверхности  $R_z = 0,8-6,3$  мкм. На полученных накаткой зубьях, окончательные размеры которых должны соответствовать 6-му качеству, предусматривают припуск (на последующее шлифование или шевингование) по 0,2–0,25 мм на сторону.

Применение пластического деформирования (накатки) вместо механической обработки дает значительное снижение трудоемкости изготовления зубчатых колес, так как производительность накатки выше зубонарезания в 40–50 раз. Например, использование одного стана даст возможность заменить примерно 80 единиц зуборезного оборудования и высвободить до 70 станочников.

Благоприятное расположение волокон после накатки повышает механические характеристики зубчатых колес, в частности, их износоустойчивость увеличивается на 50–70 %.

Стоимость колес с накатанными зубьями получается ниже стоимости фрезерованных примерно на 15–20 %. При этом можно рассчитывать, что освоение накатки заготовок без предварительной обработки снизит трудоемкость их изготовления на 40–45 %, а тем самым и стоимость зубчатых колес, и расширит область применения этого способа.

### 3.10. Калибровка

**Калибровка** относится к отделочным операциям обработки металлов давлением (рис. 29). Цель калибровки – повышение точности размеров всей поковки или отдельных ее участков. При калибровке достигают улучшения поверхности и снижения колебаний массы поковки. Калибровку целесообразно применять в крупносерийном и массовом производствах для снижения, а в некоторых случаях и для полного устранения механической обработки. Точность и чистота поверхностей поковок, подвергаемых калибровке, не ниже, чем фрезерованных, а иногда и шлифованных деталей. Кроме того, после калибровки возможно повышение механических свойств и стойкости деталей при эксплуатации за счет наклепа.

По технологическим признакам калибровку можно разделить на плоскостную, объемную и комбинированную.

Плоскостная калибровка (чеканка) служит для получения точных вертикальных размеров на одном или нескольких участках поковки, ограниченных горизонтальными плоскостями (рис. 29, а). Плоскостная калибровка производится в холодном состоянии на специальных чеканочных кривошипно-коленных прессах.

Для получения положительных результатов калибруемые поковки должны удовлетворять следующим требованиям: под калибровку должен быть предусмотрен припуск; для низких поковок (до 10 мм) номинальный припуск на размер рекомендуют 0,3–0,6 мм в зависимости от диаметра или ширины обжимаемого участка; с увеличением толщины поковки припуск увеличивается примерно до 0,5–1,0 мм.

Допуски на размеры поковок под калибровку рекомендуют от  $+(0,3 + 0,4)$  до  $+(0,8 + 1,0)$  мм соответственно приведенным ранее предельным значениям номинальных припусков. Припуски и допуски для плоскостной чеканки предусмотрены ГОСТ 7505–74\*: точность поковок после штамповки должна быть повышенной; горизонтальные размеры поковок, подлежащих калибровке, следует назначать меньше номинальных, чтобы компенсировать их увеличение после калибровки.

По точности получаемых размеров поковок после калибровки различают грубую калибровку с допуском  $\pm(0,1 + 0,25)$  мм, повы-

шенной точности с допуском  $\pm(0,05 + 0,1)$  мм и после двукратной калибровки – высокую точность с допуском  $\pm 0,025$  мм. Параметр шероховатости поверхности после калибровки достигает  $R_z = 1,6–6,3$  мкм, т. е. он такой же, как при шлифовании.

Объемная калибровка служит для уточнения размеров поковки в разных направлениях. Точность объемной калибровки ниже, чем плоскостной.

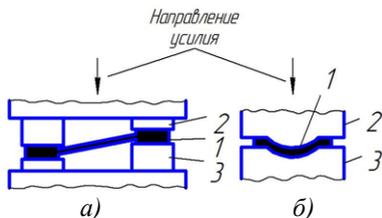


Рис. 29. Схемы калибровки: а – плоскостная; б – объемная; 1 – поковка; 2, 3 – элементы штампа

Можно обрабатывать поковки как в холодном, так и в горячем состоянии (рис. 29, б).

Комбинированная калибровка является сочетанием операций объемной и плоскостной. В начале обработки в результате объемной калибровки поверхности поволоков становятся гладкими, далее отдельные плоские элементы поволоков подвергают плоскостной чеканке для получения точных размеров между соответствующими плоскостями.

Следует отметить, что при применении таких операций, как калибровка, раскатка, накатка зубьев, отделочная вальцовка, можно всегда значительно снизить объем механической обработки, уменьшить себестоимость продукции, повысить производительность труда и качество получаемой продукции.

### 3.11. Листовая штамповка

Это один из видов холодной обработки металлов давлением, при котором листовая материал деформируется в холодном или подогретом состоянии.

Листовой штамповкой изготавливают мелкие детали часов и приборов; детали средних размеров, металлическую посуду, металличе-

кие консервные банки, части велосипедов и мотоциклов, различные заглушки, крышки, кронштейны, диски; крупные облицовочные детали автомобилей, автобусов, тракторов — кузова, крылья, двери, крыши, детали корпусов самолетов и вагонов и, наконец, очень крупные и тяжелые толстолистовые детали — днища паровых котлов и резервуаров, детали корпусов морских судов и т. д.

Сваривая листовые штампованные детали, создают сложные и ответственные части машин, например штампосварные станины прессов и металлорежущих станков, сложные штампосварные кузова автомобилей, части аппаратов химического производства, речных и морских судов.

Основные преимущества листовой штамповки:

- возможность изготовления прочных, легких и жестких тонкостенных деталей или изделий простой и сложной формы, получить которые другими способами невозможно или затруднительно;
- высокая производительность и экономное расходование металла;
- широкие возможности автоматизации и роботизации производственных процессов;
- взаимозаменяемость деталей и высокая чистота поверхности.

По сравнению с горячей штамповкой холодная листовая штамповка имеет следующие преимущества: нет операции нагрева металла, поверхностный слой металла не окисляется, изделия получаются более точными по размерам и с меньшей шероховатостью поверхности.

По сравнению с обработкой резанием холодная штамповка позволяет сократить расход материала, так как материал не отделяется в стружку, снизить трудоемкость изготовления деталей и повысить производительность труда. Одновременно холодная обработка давлением обеспечивает упрочнение обрабатываемого материала, что позволяет делать детали более легкими. Эти же преимущества позволяют заменять литые детали штампованными. Кроме того, преимущество холодной штамповки по сравнению с литьем заключается в том, что холодноштампованные изделия почти не требуют механической обработки.

Операции листовой штамповки подразделяют на разделительные, когда одна часть металла отделяется от другой; формоизменя-

ющие, при которых без разрушения заготовок изменяется их форма; комбинированные (сочетаются разделительные и формоизменяющие переходы обработки); штампосборочные, при которых механически соединяют отдельные листовые штампованные детали.

Для изготовления деталей листовой штамповкой применяют разнообразные металлические и неметаллические материалы. Металл для листовой штамповки выпускают в виде лент, полос и листов, сортамент которых указан в соответствующих стандартах, например ГОСТ 82–70 «Сталь прокатная широкополосная универсальная». При выборе материала для листовой штамповки необходимо учитывать эксплуатационные свойства получаемых деталей и способность материала к обработке давлением.

Из углеродистой стали обыкновенного качества штампуют детали, несущие малые нагрузки, бытовые изделия. Из качественной углеродистой стали изготавливают детали с повышенными требованиями к прочности и качеству поверхности. Во многих отраслях машиностроительной промышленности широкое применение находит качественная конструкционная сталь марок 05кп, 08кп, Юкп, 15кп и др. Эта сталь отличается высокими пластическими свойствами и хорошей свариваемостью.

Горячекатаную листовую сталь общего назначения, поставляемую со слоем окалина, штампуют относительно редко, так как окалина, покрывающая листы, является причиной быстрого изнашивания пуансонов и матриц. Используется эта сталь при изготовлении грубых строительных конструкций, товарных вагонов, некоторых сельскохозяйственных машин и т. д.

Декапированная тонколистовая сталь толщиной 0,25–3,0 мм имеет хорошую штампуемость. Из нее изготавливают посуду, бытовые изделия, а также детали, не несущие значительных нагрузок и не предназначенные для полирования, хромирования, никелирования.

По точности толщины листа сталь подразделяется на три группы: А – высокая точность, Б – повышенная точность, В – обычная точность.

По способности к вытяжке в холодном состоянии различают листы трех групп вытяжки: ВГ – для весьма глубокой, Г – для глубокой, Н – для нормальной.

Низкоуглеродистая холоднокатаная стальная лента может быть особо мягкой (ОМ), мягкой (М), полумягкой (ПМ), пониженной твердости (ПТ) и твердой (Т); по точности изготовления – Н (нормальной точности), ВШ (повышенной точности по ширине и толщине).

Черную отожженную полированную жести изготавливают толщиной 0,18–0,55 мм, а белую жести – 0,21–0,55 мм. Из черной жести штампуют тонкостенные детали бытовых изделий, подвергающиеся затем окраске. Из белой жести изготавливают консервные банки, тару для упаковки, пищевых продуктов, некоторые тонкостенные детали, поверхности которых должны быть защищены от коррозии.

Оцинкованную сталь, выпускаемую толщиной 0,88–1,5 мм, применяют для штамповки изделий различного назначения.

Ответственные детали штампуют из легированных конструкционных сталей, таких как 10Г2А, 12Г2А, 20ХГСА, 25ХГСА и др. Эти стали обладают хорошей способностью к штамповке в отожженном состоянии и хорошо свариваются.

Детали с повышенной коррозионной стойкостью штампуют из коррозионно-стойких сталей (например, марок 12Х18Н9, 10Х13 и др.).

Помимо указанных в листовой штамповке используются стали специального назначения, например электротехнические, пружинные.

По качеству материала листовая и полосовая сталь разделяется на сорта, изготавливаемые из сталей различных марок:

- листовая углеродистая сталь – из марок стали обыкновенного качества по ГОСТ 380–71\*;
- листовая углеродистая качественная сталь – из марок качественной стали по ГОСТ 1050–74\*\*;
- листовая низколегированная сталь – из марок стали по ГОСТ 19282–73;
- листовая легированная конструкционная сталь – из марок легированной стали по ГОСТ 1542–71\*;
- листовые высоколегированные стали и сплавы (коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные) по ГОСТ 5632–72\*.

В автомобильной, химической и пищевой промышленности вместо коррозионно-стойких и жаростойких сталей используют холоднокатаную стальную полосу (08кп), диффузионно-хромированную

в вакууме. Сталь обладает хорошими пластическими свойствами и повышенной стойкостью во многих реактивных средах при повышенной температуре. Стальные полосы с полимерным покрытием (металлопласт) применяют в химической, автомобильной, пищевой, радиотехнической, авиационной промышленности.Metalлопласт обладает стойкостью против коррозии, износоустойчивостью, хорошими электроизоляционными и звукоизоляционными свойствами.

Из цветных металлов, применяемых для листовой штамповки, наибольшее распространение получили алюминий, медь, никель, магний, титан и их сплавы.

Алюминий и его сплавы находят широкое применение в самолетостроении, автомобильной промышленности, при изготовлении различных деталей приборов, бытовых изделий и т. д. Распространены следующие марки алюминия: А1-А3, АД, АД1 и Д1, Д6, Д16.

Из медных листов и лент марок М1–М3 штампуют в основном детали электротехнической аппаратуры. Латунни находят применение при штамповке деталей часов, радиодеталей, посуды и т. д. Штампуют главным образом латунни марок Л62, Л68, Л170. Из других сплавов меди для штамповки применяют бронзы.

Никель марок Н1–Н3 и его сплавы – мельхиор и нейзильбер – используют для изготовления химической посуды, приборов, деталей часов, ювелирных изделий.

Сплавы магния МА1 и МА8 с повышенной коррозионной стойкостью применяют для штамповки самых разнообразных изделий: деталей мотоциклов, велосипедов, прицепов и других средств передвижения, электротехнического и электронного оборудования и т. д. Титан все шире используют в штамповочном производстве для изготовления ответственных деталей в авиационной промышленности и в ряде других отраслей (главным образом сплавы титана марок ВТ-1, ВТ1-00, ВТ5, ВТ6, ОТ4).

Из неметаллических материалов штамповкой получают прокладочные детали, изоляционные и декоративные. Наибольшее применение находят следующие неметаллические материалы: пластмассы (гетинакс, текстолит, органическое стекло, винипласт, целлулоид и др.), резина, материалы на основе бумаги (картон, фибра), материалы минерального происхождения (слюда, миканиты).

Из других неметаллических материалов штампуют также фетр, кожу, войлок, прессшпан.

Основным требованием, предъявляемым к материалам, применяемым при изготовлении деталей листовой штамповкой, является их пригодность к штамповке и последующей эксплуатации. Выявление этой пригодности материала к той или иной штамповочной операции весьма сложно и требует проведения ряда испытаний.

Технологические процессы листовой штамповки могут быть рациональными лишь при условии создания технологичной конструкции или формы детали, допускающей наиболее простое и экономичное изготовление. Поэтому технологичность листовых штампованных деталей представляется важной предпосылкой прогрессивности технологических процессов и экономичности производства.

Основные показатели технологичности листовых холодноштампованных деталей – наименьший расход материала, минимальное число и низкая трудоемкость операций, отсутствие последующей механической обработки, наименьшее количество требуемого оборудования и производственных помещений, минимальное число оснастки при сокращении затрат и сроков подготовки производства, увеличение производительности отдельных операций и цеха в целом. Общий результативный показатель технологичности – наименьшая себестоимость штампуемых деталей.

При конструировании деталей, предназначенных для изготовления их способами листовой штамповки, необходимо учитывать технологические требования к конструкции листовых штампованных деталей; основные из них следующие:

1) механические свойства листового материала должны соответствовать не только требованиям прочности и жесткости изделия, но также процессу формоизменения и характеру пластических деформаций; применять для формоизменяющих операций более пластичный, хотя и менее прочный материал, так как в процессе холодной штамповки происходит его упрочнение, значительно увеличивающее характеристики прочности материала;

2) создавать легкие и облегченные конструкции деталей, применяя для увеличения жесткости штамповку ребер жесткости, отбортовку, загибку, закатку кромок и т. д., а также замену тяжелых

стандартных прокатных профилей более легкими – гнутыми из листового металла;

3) конфигурация детали или ее развертки должна обеспечивать наиболее выгодное использование листового металла – применение малоотходного или безотходного раскроя. Если отход неизбежен, то желательно придать ему конфигурацию, соответствующую другой детали, или использовать его вторично;

4) широко применять технологичные штамповочные конструкции взамен литых, кованных или клепаных;

5) использовать штамповочные методы для сборки отдельных деталей путем расклепки, отбортовки, полой высадки, загибки кромок и лапок, закатки шва и т. п.

Кроме указанных общих требований к конструкции штампованных деталей существуют специфичные требования, присущие отдельным операциям листовой штамповки.

Основные технологические требования к конструкции плоских деталей, получаемых вырубкой или пробивкой:

1) избегать сложных конфигураций с узкими и длинными вырезами контура или очень узкими прорезями ( $b > 2S$ , где  $b$  – ширина прорези;  $S$  – толщина листовой заготовки);

2) выполнять сопряжения сторон наружного контура с закруглениями лишь при вырубке детали по всему контуру; для возможности применения безотходного раскроя следует, наоборот, допускать сопряжения сторон под прямым углом;

3) избегать вырубку длинных и узких деталей постоянной ширины при  $b > 3S$ , заменяя вырубку расплющиванием проволочной заготовки;

4) не следует располагать отверстия в заготовке, подлежащей гибке, близко к радиусу закругления детали; наименьшее расстояние от края отверстия до загнутой полки « $a$ » должно составлять  $a \geq r + 2S$ , где  $r$  – радиус изгиба;

5) в вытянутых деталях, имеющих отверстия в дне или фланце, пробиваемые после вытяжки, расстояние от стенки детали до края отверстия  $C \geq r + 0,5S$ , где  $r$  – радиус закругления дна или фланца;

6) наименьшее расстояние между отверстиями при одновременной их пробивке  $L = (2/3)S$ .

При проектировании гнутых деталей необходимо учитывать технологические требования к конструкции изогнутых листовых деталей:

1) минимально допустимые радиусы изгиба следует применять лишь при конструктивной необходимости; в большинстве случаев можно применить увеличенные радиусы гибки:  $r \geq S$  (для толстых заготовок еще бóльшие);

2) в случае гибки пластичных металлов (стали 10, 20) с малым радиусом закругления линию изгиба желательно располагать поперек волокон проката;

3) при гибке твердых малопластичных материалов (бронза, сильно наклепанная латунь, лента пружинной стали и др.) линию изгиба следует располагать обязательно поперек волокон проката; наименьший радиус изгиба берется в пределах  $2S-4S$ ;

4) для увеличения жесткости гнутых деталей и устранения упругого пружинения рекомендуется штамповка ребер жесткости поперек угла изгиба;

5) наименьшая высота отгибаемой полки  $h \geq 3S$ ;

6) в случае многооперационной гибки необходимо предусматривать технологические базы для фиксации заготовок на операциях.

При проектировании деталей, получаемых вытяжкой или формовкой, следует учитывать следующие технологические требования:

1) избегать весьма сложных и несимметричных форм вытягиваемых деталей, использовать их лишь в случае явной конструктивной необходимости;

2) радиусы закруглений фланца должны быть больше, чем радиусы закруглений у дна; сопряжение стенок с дном без радиуса закругления может быть выполнено путем дополнительной калибровки или при штамповке весьма толстых заготовок;

3) избегать глубоких вытяжек с широким фланцем, требующих большого числа операций;

4) полуоткрытые несимметричные формы полых деталей нужно проектировать, учитывая возможность спаренной вытяжки с последующей разрезкой на две детали;

5) в прямоугольных коробках избегать острых углов в плане и у дна детали, кроме случаев изготовления коробок методом холодного выдавливания;

6) при вытяжке полых деталей сложной конфигурации предусматривать те или иные технологические базы для фиксации заготовок на операциях.

Анализ технологичности деталей проводится обязательно с учетом конкретных производственных условий и масштаба производства. При массовом производстве штампуемых деталей основными показателями при оценке технологичности являются расход материала и трудоемкость изготовления. Действительно, при изготовлении деталей сотнями тысяч или миллионами единиц эти факторы приобретают решающее значение. Уменьшение трудоемкости изготовления может быть достигнуто совмещением операций, применением сложных штампов-автоматов, автоматических линий. Связанное с этим удорожание производства оказывает малое влияние на себестоимость продукции, так как затраты распределяются на большое число штампуемых деталей.

При мелкосерийном производстве на себестоимость продукции большое влияние оказывает стоимость штампа. Поэтому экономически целесообразно применять штамповку в универсальных штампах со сменными пуансонами и матрицами. В этом случае технологический процесс расчленяют на ряд отдельных простых операций. Для оснащения штампов изготавливают только относительно простые пуансоны и матрицы. Это позволяет осуществлять штамповку с малыми затратами на оснастку.

К *разделительным операциям* листовой штамповки относятся отрезка, разрезка, обрезка, надрезка, вырубка, пробивка, проколка, зачистка.

В разделительных операциях листовой штамповки отделение одной части заготовки от другой осуществляется относительным смещением частей в направлении, перпендикулярном к плоскости заготовки. Это смещение в начальных стадиях характеризуется пластическим деформированием, но завершается обязательно разрушением. Для уменьшения искажений заготовки, вызываемых пласти-

ческими деформациями, стремятся локализовать очаг деформации, чему способствуют уменьшение радиусов скругления рабочих кромок инструмента, уменьшение зазора между пуансоном и матрицей, а также применение специальных разделительных операций.

Обычная вырубка и пробивка листового материала дают неровную, слегка криволинейную и шероховатую поверхность среза. В ряде случаев изготовления штампованных деталей повышенной точности требуется гладкая и перпендикулярная поверхность среза с параметром шероховатости поверхности  $R_z = 1,6-3,2$  мкм. В таких случаях применяют способы чистой вырубки, имеющие значительные преимущества по сравнению с механической обработкой резанием и дающие гладкую полированную поверхность среза, перпендикулярную к поверхности изделия, при повышенной точности изготовления.

Сущность этих способов заключается в применении матрицы с закругленными режущими кромками (рис. 30, а), пуансона больше матрицы (рис. 30, б), или прижима, имеющего клиновидное ребро (рис. 30, в). Последний способ является новым, прогрессивным. В результате смещения некоторого объема металла клиновым ребром в сторону пуансона в зоне реза создается напряженное состояние объемного сжатия, которое способствует устойчивости пластической деформации и увеличивает пластические свойства материала заготовки. Этим способом изготавливают детали точного приборостроения толщиной 1,5–15 мм. Параметр шероховатости поверхности среза  $R_z = 1,6-3,2$  мкм.

Раскрой листового металла на штучные заготовки и полосы является первой операцией, связанной с потерями металла в виде обрезков и неиспользуемых отходов. В то же время экономия металла и уменьшение отходов в холодной листовой штамповке имеют весьма важное значение, особенно в крупносерийном и массовом производствах, так как при больших масштабах производства даже незначительная экономия материала на одном изделии в итоге дает значительный экономический эффект.

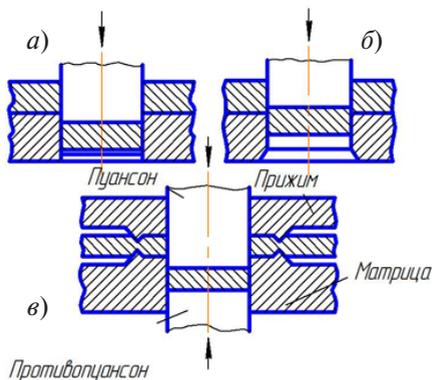


Рис. 30. Схемы процессов вырубки: *а* – обычной; *б* – пуансоном больше матрицы; *в* – точной с клиновым прижимом

При листовой штамповке экономия металла может быть получена наиболее целесообразным раскромом листов на штучные заготовки или полосы с наименьшими отходами; экономным раскромом полос и расположением вырубаемых деталей на полосе; уменьшением потерь металла на перемычки; применением так называемого безотходного и малоотходного раскроя; повышением точности расчета размеров заготовок и уменьшением припусков на обрезку; использованием отходов для изготовления других деталей; предупреждением появления брака штампуемых деталей.

Различные способы раскроя полосового материала по экономичности и технологическим отходам разделяют на три вида: раскрой с отходами, малоотходный и безотходный раскрои.

Оценку экономичности того или иного типа раскроя производят посредством определения коэффициента раскроя:

$$K_p = (f_0 n_p) / (Bh),$$

где  $f_0$  – площадь поверхности детали, м<sup>2</sup>;  $h$  – шаг вырубki, м;  $B$  – ширина полосы, м;  $n_p$  – число рядов раскроя.

При штамповке из полосы или ленты коэффициент раскроя определяют по формуле

$$K_u = fn / LB,$$

где  $f$  – площадь детали, м<sup>2</sup>;  $n$  – число фактических деталей, получаемых из полосы;  $L$  – длина полосы или ленты, м;  $B$  – ширина полосы или ленты, м.

Если в операциях разделения листового материала стремятся к максимальной локализации очага деформации, то при формоизменяющих операциях сосредоточение деформации в одном месте недопустимо, так как формоизменяющие операции осуществляются без разрушения материала. При формоизменяющих операциях стремятся получить заданную величину деформации, чтобы заготовка приобрела требуемую форму. Если этого не удастся достичь за один ход пресса, технологический процесс разбивают на переходы, число которых зависит от сложности детали, материала заготовки, применяемого оборудования.

При проектировании технологических процессов, в которых применяются *операции гибки*, технологам приходится определять размеры заготовки, минимальные радиусы изгиба, углы пружинения, условия гибки без калибровки, с калибровкой.

Одной из основных технологических характеристик при гибке является минимально допустимый радиус изгиба (радиус пуансона). Минимально допустимые радиусы изгиба должны соответствовать пластичности металла и не допускать образования трещин на наружной поверхности металла.

При снятии деформирующих усилий после гибки происходит упругая разгрузка, в результате чего размеры детали изменяются. Последеформационная упругая деформация при гибке носит название «пружинение». Для получения точных размеров гнутых деталей необходимо учитывать значения угла пружинения.

Для компенсации пружинения применяют различные способы: увеличивают углы подгибки на угол пружинения, используют гибку с калибровкой (подчеканкой), специальные штампы с компенсатором.

**Вытяжка** является основной из формоизменяющих операций. Вытяжку изделий из тонколистового материала в большинстве случаев производят в холодном состоянии. Вытяжку из толстолистового материала, а также из малопластичных металлов осуществляют с подогревом заготовок.

По характеру деформации различают: 1) вытяжку без утонения стенок; 2) вытяжку с утонением. В первом случае вытяжка происходит без заранее обусловленного изменения толщины материала

стенок изделий: во втором случае процесс вытяжки осуществляется за счет изменения поперечного сечения: уменьшения диаметра и толщины стенок изделия.

Основными рабочими инструментами для вытяжки служат матрица и цилиндрический пуансон. При опускании пуансона плоский кружок-заготовка вытягивается, проталкивается пуансоном через матрицу и превращается в полый цилиндр. Различают три основных способа вытяжки.

1. Вытяжка полых деталей путем превращения плоского фланца в цилиндрическую или коробчатую форму при создании во фланце плоского напряженного состояния. Сюда относится вытяжка цилиндрических, овальных, коробчатых и других деталей с вертикальными или слегка наклонными стенками.

2. Вытяжка сферических, криволинейных и сложной формы деталей в штампах с вытяжными ребрами. В этом случае под прижимом преобладают растягивающие напряжения и деформации, а в остальной части деформируемой заготовки возникает напряженное состояние двухосного растяжения.

3. Вытяжка эластичной матрицей и фрикционная вытяжка, создающие заталкивание заготовки, в результате чего снижаются растягивающие напряжения в очаге деформации и облегчается процесс вытяжки.

При первом способе вытяжки наиболее благоприятные условия деформирования заключаются в максимально возможном уменьшении сопротивления плоского фланца деформированию. Этого достигают путем применения металла пониженной прочности, отжигом заготовки, нагревом фланца, вытяжкой без прижима, эффективным смазыванием. В результате снижаются растягивающие напряжения в опасном сечении, улучшается условие прочности этого сечения и становится возможной более глубокая вытяжка.

При втором способе вытяжки в штампах с вытяжными ребрами значительная часть заготовки вначале находится вне контакта с рабочими частями штампа и легко образует гофры и морщины. Для их предотвращения приходится создавать повышенные радиальные растягивающие напряжения и искусственно увеличивать сопротивление деформируемого металла путем перетягивания его

через вытяжные ребра. При этом значительно возрастают растягивающие напряжения в опасном сечении и ухудшается условие его прочности. Для того чтобы в данном случае создать благоприятные условия деформирования и избежать разрыва, надо обеспечить условие прочности опасного сечения, что возможно лишь при применении металла повышенных прочности и упрочняемости при достаточно высокой пластичности.

Третий способ вытяжки обладает наиболее благоприятными условиями деформирования, так как в этом случае прочность опасного сечения позволяет получить значительную степень деформации.

Таким образом, для рассмотренных способов вытяжки необходимо выбирать металл с различными механическими свойствами или в различном состоянии: при первом способе вытяжки – повышенной пластичности при пониженной прочности (стали 08-10 в отожженном состоянии или нормализованном состоянии с дресировкой); при втором – повышенной прочности при достаточно высокой пластичности (стали 08-10, 12Х18Н9Т); при третьем – без повышенных механических свойств.

Процесс вытяжки характеризуется коэффициентом вытяжки, который определяется по формуле:

$$K = D_{II} / D_3,$$

где  $D_{II}$  – диаметр получаемого изделия или полуфабриката, м;  
 $D_3$  – диаметр заготовки, м.

Коэффициенты вытяжки должны быть разными для деталей различной геометрической формы, а также для различной относительной толщины материала, от которой зависит большая или меньшая степень устойчивости фланца заготовки.

Оптимальные значения коэффициентов вытяжки цилиндрических деталей без фланца зависят от относительной толщины заготовки.

При разработке конструкции детали, получаемой вытяжкой листового материала, необходимо стремиться к тому, чтобы деталь можно было бы получить за наименьшее число переходов. В процессе вытяжки, как и при любой холодной пластической деформации, все металлы подвергаются упрочнению или наклепу, сопровожда-

емому повышением сопротивления деформированию и прочностных характеристик и понижением пластичности металла. На складе полуфабрикатов с недельным, а иногда и более длительным сроком хранения пооперационных заготовок процесс старения металла приводит к значительному снижению пластичности материала заготовки или полуфабриката. Все это вызывает необходимость применения межоперационного отжига.

Обычные способы вытяжки применяют почти во всех отраслях промышленности. Однако в ряде случаев они недостаточно рациональны и эффективны. Например, не всегда приемлема многооперационность процесса вытяжки деталей сложной формы, для которых требуется большое число штампов. В результате работы по дальнейшему улучшению и интенсификации процесса глубокой вытяжки созданы и освоены особые способы вытяжки.

Обратная вытяжка (с выворачиванием) – это объединение двух или более операций вытяжки, выполняемых за один рабочий ход (рис. 31). При этом каждая последующая вытяжка осуществляется в направлении, обратном предыдущему. Обратную вытяжку применяют в целях сокращения количества штамповочных операций.

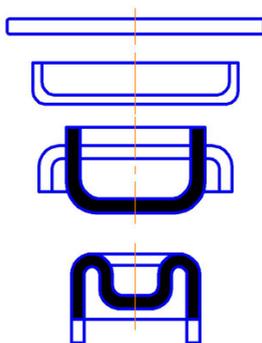


Рис. 31. Схема вытяжки с выворачиванием

Последовательную вытяжку в ленте (рис. 32) выполняют при изготовлении полых деталей и осуществляют на многопозиционных штампах. Для предотвращения разрывов ленты коэффициент вытяжки принимают несколько большим, чем при обычной вытяж-

ке. Так, в случае вытяжки деталей из низкоуглеродистых сталей и латуни для первой операции коэффициент вытяжки берут равным 0,68–0,72, а для второй операции – 0,80–0,85. Этот способ значительно повышает производительность штамповки.

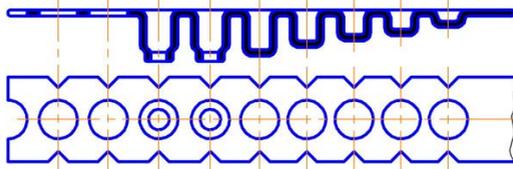


Рис. 32. Схема штамповки по ленте

Вытяжку с утонением (рис. 33) применяют для изготовления тонкостенных деталей, при этом длина вытягиваемой детали увеличивается за счет уменьшения толщины стенок.

Обычно утонение стенок за один проход не превышает 30–35 % начальной толщины, что обеспечивается соответствующим выбором зазора между пуансоном и матрицей. При вытяжке с утонением толщина дна изделия не изменяется. Эту операцию можно осуществлять через несколько матриц, расположенных последовательно одна за другой.

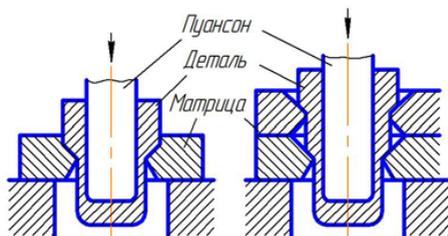


Рис. 33. Схема вытяжки с утонением

Вытяжку резиной (рис. 34) выполняют резиновой подушкой (пуансоном) в жесткой матрице или жестким пуансоном в резиновой матрице. Оба способа применяют для получения полых деталей из тонколистового материала. Резиновую подушку заключают в металлическую обойму. Штампы для вытяжки резиной просты, так как изготавливать нужно лишь один деформирующий элемент (пуансон

или матрицу), другой заменяется резиной. Необходимость создания высоких удельных давлений и быстрое изнашивание резины ограничивают область применения этого способа. Он используется в основном в условиях мелкосерийного и индивидуального производств.

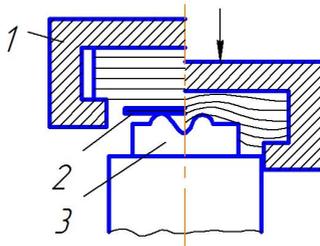


Рис. 34. Схема вытяжки резиновой подушкой (пуансоном):  
1 — контейнер с резиной; 2 — заготовка; 3 — матрица

При гидравлической вытяжке (рис. 35) полые детали цилиндрической, конической, сферической или другой формы получают надавливанием на заготовку непосредственно жидкостью или жидкостью, заключенной в эластичную (резиновую) оболочку. Этот способ особенно эффективен при изготовлении деталей сложной формы, так как при гидравлической вытяжке отпадает необходимость в изготовлении металлического пуансона и пригонки его к матрице. Недостаток гидравлической вытяжки — возможность значительного утонения металла в отдельных зонах, так как силы трения между заготовкой и матрицей приводят к возникновению больших растягивающих напряжений.

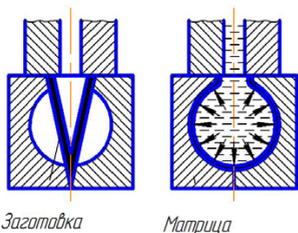


Рис. 35. Схема гидравлической вытяжки

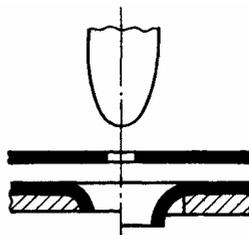


Рис. 36. Схема отбортовки

**Отбортовку** подразделяют на два основных вида (рис. 36): отбортовка отверстий – образование бортов вокруг предварительно пробитых отверстий; отбортовка наружного контура – образование невысоких бортов по наружному криволинейному краю заготовок.

Отбортовку отверстий широко используют в штамповочном производстве, заменяя операции вытяжки, с последующей вырубкой дна. Особенно большую эффективность дает применение отбортовки отверстий при изготовлении деталей с большим фланцем, когда вытяжка затруднительна и требует нескольких переходов.

Геометрические размеры отбортовки определяют исходя из равенства объемов заготовки и детали. Обычно высота борта бывает задана чертежом детали.

Отбортовку лучше производить при большом зазоре между пуансоном и матрицей или при значительно увеличенном радиусе закругления матрицы. Такая отбортовка характеризуется большим радиусом закругления, но малой цилиндрической частью борта; ее применяют для увеличения жесткости конструкции при малой ее массе (например, при отбортовке крупных отверстий и окон в авиационных, транспортных, судостроительных конструкциях и т. д.).

Отбортовку с малым радиусом закруглений и большой цилиндрической частью борта можно применять лишь для небольших отверстий под резьбу, при запрессовке осей или когда конструктивно необходимо иметь цилиндрические отбортованные отверстия.

Успешное выполнение отбортовки зависит от чистоты среза деформируемой кромки. При наличии заусенцев по краю отверстия неизбежно образование трещин и разрывов.

Степень деформации при отбортовке отверстий определяют соотношением между диаметром отверстия ( $D$ ) в заготовке и диаметром борта ( $d$ ) или так называемым коэффициентом отбортовки  $K_0 = d/D$ .

Величина  $K_0$  зависит от вида и свойств материала и отношения толщины заготовки к диаметру пробитого отверстия  $\Delta = (S/d)$ . Для стали с содержанием углерода 0,1 % при  $\Delta$ , равном от 3 до 9,  $K_0 = 0,60/0,45$ , а при  $\Delta$ , равном от 67 до 100,  $K_0 = 0,23/0,20$ .

В различных отраслях промышленности (электро-, радиотехника, приборостроение) применяют штамповку деталей, имеющих отверстия с высокими цилиндрическими стенками. В данном

случае применяют операцию отбортовки с утонением стенок, так как при простой отбортовке для образования высокого цилиндрического борта не хватало бы площади заготовки. При этом обычно достигают значительной экономии металла (рис. 37).

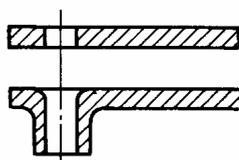


Рис. 37. Схема отбортовки с утонением

Отбортовка с заданным утонением материала является более целесообразной вследствие большей устойчивости пластической деформации металла и отсутствия разрыва и трещин, так как в процессе утонения возникает более благоприятное напряженное состояние за счет появления значительных сжимающих напряжений. Это позволяет вести отбортовку при смягченных «неопасных» коэффициентах отбортовки, а высоту борта получить за счет максимально допустимого утонения материала. Производственный опыт показывает возможность утонения за одну операцию до  $S = (2,0/2,5)S_i$ , где  $S_i$  — толщина материала в отбортованной части.

В некоторых неотчетственных случаях допускается изготовление рваного борта путем проколки материала гвоздеобразным пуансоном. Этот способ отбортовки применяют для соединения деталей из тонкого материала (до 0,6 мм) взамен соединения заклепками, а также для получения отверстий с загнутыми кромками.

### 3.12. Высокоэнергетические методы штамповки

Последние десятилетия характеризуются быстрым развитием производства крупногабаритных машин и механизмов. Изготовление элементов конструкций размерами 3–10 м потребовало создания новых беспрессовых методов штамповки ввиду ограниченных возможностей механических и гидравлических прессов.

В качестве таких методов были созданы и применены на практике высокоэнергетические методы формообразования под действием импульсивных нагрузок, создаваемых взрывом брезантных взрывчатых веществ, газовых смесей, давлением испаряющихся сжиженных газов, высоковольтным электрическим разрядом в жидкости, мощными импульсами магнитного поля.

Особенностью *высокоэнергетических импульсных методов штамповки* является высокая скорость деформирования в соответствии с высокими скоростями преобразования энергии. Поэтому высокоэнергетические методы штамповки именуется высокоскоростными методами. Они получили преимущественное применение при изготовлении крупногабаритных деталей типа днищ, полусфер, оболочек и других, изготавливаемых малыми сериями, когда использование прессов и штампов становится технически нецелесообразным и экономически невыгодным.

Импульсные методы обработки металлов имеют место в самых разнообразных процессах штамповки: при вытяжке, листовой формовке, формоизменении трубчатых заготовок, вырубке и пробивке отверстий, резке труб и проката, объемной штамповке, калибровке и поверхностном упрочнении металла, прессовании, сварке разнообразных металлов, запрессовке и развальцовке труб, различных сборочных операциях.

Взрывная штамповка основана на деформации заготовки давлением ударной волны, образующейся при взрыве брезантных взрывчатых веществ (ВВ), при этом время деформации детали исчисляется миллисекундами.

Взрывная штамповка получила преимущественное применение для обработки крупных деталей (1,5–8 м) при толщине материала свыше 2 мм. Достоинством ее является высокая экономическая эффективность в результате резкого снижения капитальных затрат и сокращения сроков и стоимости подготовки производства. Другое преимущество – возможность штамповки деталей из высокопрочных сплавов.

В зависимости от размеров и формы деталей взрывная штамповка осуществляется следующим образом: при больших габаритах деталей – в бассейнах с водой или бронекамерах; при небольших размерах деталей – в наземных установках.

Наряду со взрывной штамповкой применяют способ формовки высоковольтным электрическим разрядом в воде. Энергия, необходимая для электрического разряда, накапливается в высоковольтной конденсаторной батарее (35–40 кВ). Накопленная энергия (от 30 до 120 кДж) создает между электродами мгновенный разряд длительностью  $10^{-5}$  с, что приводит к мгновенному испарению не-

которого объема воды и расширению образовавшегося пара, который вызывает ударную волну в жидкости, в результате чего происходит деформация заготовки.

Электрогидравлическая штамповка имеет ряд преимуществ перед взрывной штамповкой: 1) лучшую управляемость процессом за счет варьирования количества импульсов и месторасположения разрядных контуров; 2) возможность изменения энергии и осуществления многократного разрядного импульса; 3) размещение электрогидравлических установок в производственных помещениях.

Электрогидравлической штамповкой осуществляют вытяжку, листовую формовку, отбортовку, растяжку полых деталей, пробивку отверстий, развальцовку труб и т. п. Наиболее перспективно применение электрогидроимпульсной штамповки для изготовления крупногабаритных деталей размерами от 400×400 до 1300 ×1800 мм. Электрогидравлической обработке подвергаются различные, в том числе труднодеформируемые, металлы и сплавы.

Установки для штамповки высоковольтным электрическим разрядом состоят из источника питания, включая высоковольтный трансформатор с выпрямительным устройством, конденсаторной батареи, разрядника и технологической установки, состоящей из матрицы, прижимного устройства, электродов, вакуум-насоса.

Магнитно-импульсная штамповка (МИШ) основана на мгновенном разряде электроэнергии, накопленной в конденсаторной батарее, через соответствующий индуктор, являющийся рабочим органом. При этом в цепи индуктора протекает импульс тока, а в окружающем индуктор пространстве возникает импульсное магнитное поле высокой напряженности. Это магнитное поле индуцирует вихревые токи противоположного направления в металлической заготовке, помещенной вблизи индуктора. При взаимодействии мощного поля индуктора с индуцированным в заготовке током и его магнитным полем возникают электромеханические силы взаимодействия, стремящиеся оттолкнуть заготовку от индуктора и вызывающие ее деформацию. МИШ получила довольно широкое применение в промышленности при выполнении различных операций листовой штамповки: вытяжки, вырубки, пробивки отверстий, отбортовки, развальцовки труб, запрессовки штуцеров, обжатия труб и наконечников на тросах, сборки трубчатых

деталей с оправками и т. п. Этот способ имеет ряд преимуществ перед другими высокоэнергетическими методами:

- повышенную точность штампуемых деталей; сравнительно высокую производительность процесса; возможность точного дозирования мощности импульсного разряда путем применения конденсаторов различной емкости, автоматизации и встраивания магнитно-импульсных установок в производственный процесс;

- возможность выполнения сборочных операций, а также деформирования заготовок за несколько разрядных импульсов, причем первые импульсы служат для разогрева заготовки и повышения ее пластических свойств.

Магнитно-импульсные установки конструктивно просты, не имеют движущихся и трущихся частей и поэтому надежны в эксплуатации.

Холодная штамповка, применявшаяся вначале только в крупносерийном и массовом производстве, в настоящее время получила широкое распространение в мелкосерийном производстве, в серийном производстве с неустойчивой, часто изменяющейся номенклатурой деталей и даже при изготовлении опытных деталей. Это стало возможным в результате применения универсальных или простых и дешевых штампов и внедрения штамповки по элементам.

Внедрение холодной штамповки в мелкосерийном производстве взамен малопроизводительной ручной обработки приводит к значительному экономическому эффекту, заключающемуся в резком снижении трудоемкости по сравнению с ручной обработкой деталей, в уменьшении расхода материала и снижении массы штампуемых деталей, в увеличении производительности и снижении себестоимости деталей.

В мелкосерийном производстве получили применение следующие процессы листовой штамповки: 1) на универсальных переналаживаемых штампах, предназначенных для изготовления подобных однотипных деталей разных размеров; 2) по элементам на универсальных быстропереналаживаемых штампах; 3) на координатно-револьверных пробивных прессах; 4) на прорезных прессах и обрабатывающих центрах; 5) на универсально-сборных штампах; 6) полиуретаном.

Универсальные штампы давно применяются в серийном и мелкосерийном производствах и предназначены для отрезки, пробивки, надрезки, обрезки и гибки деталей, различающихся своими размерами. На этих штампах изготавливают детали из полосы, ленты, прутка и профильных заготовок.

Метод штамповки по элементам, разработанный заслуженным изобретателем РСФСР В.М. Богдановым, заключается в том, что контур штампуемой детали расчленяется на простейшие элементы (прямые участки, закругления, пазы, скосы, отверстия и т. п.), выполняемые на заготовке последовательно при помощи набора различных штампов, каждый из которых может штамповать один или группу элементов контура (рис. 38).

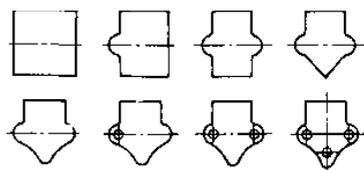


Рис. 38. Схема штамповки по элементам

В мелкосерийном производстве штамповка по элементам универсальными штампами позволяет отказаться от изготовления ряда специальных штампов, что дает большую экономию и значительно сокращает сроки подготовки производства. В случае изменения размеров деталей вместо переделки штампов требуется лишь переналадка универсальных штампов.

При листовой штамповке в условиях мелкосерийного производства осуществляется штамповка на координатно-револьверных пробивных прессах деталей типа плат, панелей, шасси приемников с большим числом отверстий и пазов разных форм и размеров. Изготовление таких деталей на координатно-револьверных пробивных прессах заключается в последовательной штамповке отверстий или других элементов при помощи набора сменных штампов, устанавливаемых в револьверной головке пресса. Обработываемая заготовка подается на рабочую позицию при помощи координатного устройства, управляемого вручную или автоматически при помощи программного управления. Координатно-револьверный пресс позволяет штамповать не только отверстия, но и наружные элементы листовых деталей: пазы, срезы, закругления, ребра жесткости, жалузы, а также неглубокую отбортовку.

## **Глава 4. КОНТРОЛЬ ЗАГОТОВОК**

Опережающее развитие машиностроительного комплекса вызывает необходимость повышения действенности системы технического контроля в заготовительном производстве.

Основные задачи технического контроля:

- выявление причины отклонения качества заготовок от заданного и нарушений технологического процесса;
- разработка мероприятий по повышению качества продукции;
- установление соответствия режимов и последовательности выполнения технологических операций, предусмотренных технической документацией;
- установление соответствия качества материалов, требуемых для производства заготовок.

Все это предопределяет многообразие способов, приемов и методов контроля. Совокупность средств контроля и исполнителей, взаимодействующих с объектом контроля по правилам, установленным соответствующей документацией, согласно ГОСТ 16504–74 называется системой технического контроля (СТК). В машиностроении технический контроль подразделяется на виды в зависимости от предъявляемых к нему требований.

По обязательности проведения различают текущий и профилактический контроль.

### **4.1. Классификация средств неразрушающего контроля (СНК)**

К средствам неразрушающего контроля принято относить контрольно-измерительную аппаратуру, в которой используются проникающие поля, излучения и вещества для получения информации о качестве исследуемых материалов и объектов.

В отечественной практике современный подход к классификации методов неразрушающего контроля (НК) отражен в ГОСТ 18353–73, в соответствии с которым всем методам НК присваивается строго определенный код. Структура кода состоит из шести разрядов, каждый из которых обозначается двумя цифрами.

ГОСТ различает десять основных видов НК (табл. 4.1). Внутри каждого основного вида методы НК разделяют по характеру используемых физических полей, излучений и веществ, их взаимодействию с контролируемым объектом, первичным информативным параметром, а также по способу индикации и представления информации о результатах контроля.

Таблица 4.1

Классификация методов НК

Индекс	Методы
01	Акустические
02	Капиллярные
03	Магнитные
04	Оптические
05	Радиационные
06	Радиоволновые
07	Тепловые
08	Течеискания
09	Электрические
10	Электромагнитные

Классификация аппаратуры для НК производится на основе единого общероссийского классификатора промышленной и сельскохозяйственной продукции.

В высших классификационных группировках этого классификатора все СНК разделены на семь основных групп, причем оптические и тепловые приборы отнесены к одной группе.

По техническому исполнению средства контроля можно разделить на три класса:

- 1) автономные приборы для контроля одной или нескольких взаимосвязанных качественных характеристик;
- 2) комплексные системы и автоматические линии, предназначенные для контроля ряда основных параметров, характеризующих качество объекта;
- 3) системы НК для автоматического управления технологическими процессами по качественным признакам.

По видам контролируемых параметров СНК разделяются:

- на дефектоскопы, т. е. приборы и установки, предназначенные для обнаружения дефектов типа нарушений сплошности (трещины, раковины, расслоения и т. п.);
- приборы для измерения физико-механических и физико-химических характеристик (электрических, магнитных и структурных параметров, отклонений от заданного химического состава, измерения твердости, пластичности, коэрцитивной силы, контроля качества упрочненных слоев, содержания и распределения ферритной фазы и т. п.);
- приборы технической диагностики для предсказания возникновения различного ряда дефектов (нарушения сплошности, изменение размеров и физико-механических свойств объекта на период его эксплуатации).

## **4.2. Дефекты отливок и причины их возникновения**

Дефекты отливок по внешним признакам подразделяют на наружные (песчаные раковины, перекося, недолив); внутренние (усадочные и газовые раковины, трещины горячие и холодные и др.).

**Песчаные раковины** – открытые или закрытые пустоты в теле отливки, которые возникают из-за низкой прочности формы и стержней, слабого уплотнения формы, недостаточного крепления выступающих частей формы и прочих причин.

**Перекося** – смещение одной части отливки относительно другой, возникающее в результате небрежной сборки формы, износа центрирующих штырей, несоответствия знаковых частей стержня на модели и в стержневом ящике, неправильной установки стержня в форму и другие отливки.

**Недолив** – некоторые части отливки остаются незаполненными в связи с низкой температурой заливки, недостаточной жидкотекучестью, недостаточным сечением элементов литниковой системы, неправильной конструкцией отливки.

**Усадочные раковины** – открытые или закрытые пустоты в теле отливки с шероховатой поверхностью и грубокристаллическим строением.

*Газовые раковины* — открытые или закрытые пустоты в теле отливки с чистой и гладкой поверхностью, которые возникают из-за недостаточной газопроницаемости формы и стержней, повышенной влажности формовочных смесей и стержней, насыщенности расплавленного металла газами и др.

*Трещины горячие и холодные* — разрывы в теле отливки, возникающие при заливке чрезмерно перегретым металлом, из-за неправильной конструкции литниковой системы и прибылей, неправильной конструкции отливки, повышенной неравномерной усадки, низкой податливости форм и стержней.

### **4.3. Дефекты поковок и причины их возникновения**

К числу возможных дефектов металлов, обработанных давлением, относятся температурные или термические напряжения, мелкие внутренние трещины, большой угар, хрупкость заготовки, пережог, разрывы, чернота и неточная фигура.

Температурные или термические напряжения могут достигать такой величины, что иногда даже вызывают разрушение заготовки, а также являются причиной образования трещин.

Это явление особенно характерно для металлов с низкой теплопроводностью (для высокоуглеродистых и легированных сталей).

*Большой угар* — потеря веса стальных заготовок, объясняется образованием на их поверхности окалины. Нормальным считается угар, не превышающий 2 %.

*Хрупкость* — слабая связь между укрупнёнными зёрнами, что является следствием длительного и высокого нагрева (перегрева).

*Пережог* — неисправимый брак. Объясняется появлением окалины не только на поверхности, но и внутри между зёрнами. Образуется пережог в результате сильного и длительного нагрева до температуры, близкой к точке плавления.

Внутренние трещины или расслоения образуются на месте усадочных раковин с окисленными стенками или в местах рыхлости, такие трещины иногда тянутся на всю длину заготовки и расслаивают поковку на части.

Надрывы, или трещины по краям (рванины), а также в середине поковки (скворечники), образуются от неравномерного обжатия металла при деформировании.

**Чернота** – недостаточный припуск на механическую обработку вследствие уменьшения размеров или кривизны поволоков.

**Недостаточная фигура** – несоответствие размеров поволоков требованиям чертежа, особенно в углах, выступах, закруглениях, ребрах.

#### 4.4. Контролируемые параметры, дефекты и методы контроля

Выбор метода и прибора неразрушающего контроля для определения перечисленных дефектов зависит от параметров контролируемого объекта и условий его обследования. Ни один из методов и приборов не является универсальным и не может удовлетворить в полном объеме требований практики. В соответствии с назначением приборов измеряемые и определяемые параметры разделяют на четыре группы, представленные в табл. 4.2.

Согласно ГОСТ 17102–71 различают дефекты малозначительные (допустимые) и критические (недопустимые) в зависимости от их потенциальной сложности.

Таблица 4.2

Классификация контролируемых параметров

Группа	Параметры
I	Контролируемые дефектоскопами, т. е. дефекты типа нарушения сплошности: раковины, трещины, поры и т. п.
II	Отклонения размеров от номинального значения – длины, ширины, высоты, диаметра, толщины стенки, толщины покрытия, глубины поверхностного слоя (закаленного, обезуглероженного и т. д.)
III	Удельная электрическая проводимость, магнитная проницаемость, коэрцитивная сила, остаточная индукция, твердость, влажность, напряжение, структура, химический состав, предел прочности, предел текучести, относительное удлинение, плотность и др.
IV	Эмиссия волн напряжения, развитие во времени трещин, увеличение напряжений, утончение стенки, увеличение зазора и т. д.

К недопустимым дефектам относят те, которые подлежат обязательному обнаружению и незамедлительному устранению или исправлению.

При любом методе контроля о дефектах судят по косвенным признакам (характеристикам), свойственным данному методу.

Некоторые из этих признаков поддаются измерению, а результаты измерения служат характеристиками выявленных дефектов и используются для их классификации.

Все дефекты, встречающиеся в заготовках, различают по размерам, расположению, а также по природе их происхождения (табл. 4.3). Но для всех дефектов характерен один общий признак: они вызывают изменение физических характеристик материала, таких как удельная электрическая проводимость, магнитная проницаемость, коэффициент затухания упругих колебаний, плотность, коэффициент ослабления излучения и на основании этих изменений в таблице представлены виды дефектов и рекомендуемые методы НК.

Вероятность образования дефектов с учетом их потенциальной опасности и вероятность выявления отдельными методами, обуславливающие выбор эффективных средств НК изделий, могут быть установлены только на основе обработки статистических данных контроля.

Таблица 4.3

Дефекты заготовок и методы их обнаружения без разрушения

Вид дефекта	Выявляемость дефектов методами ПК					
	ВЗ	Р	М	К	В	А
<b>Включения неметаллические шлаковые</b>						
Флюсовые	0	4	0	0	2	4
Вмятины	4	0	0	0	2	0
Волосовины	0	0	5	0	3	0
Грубозернистость	0	0	0	0	2	4
Закаты	2	0	0	2	3	3
Заковы	2	0	2	2	3	3
Заливины	4	0	0	0	2	0
Ликвация:						
дендритная	0	2	0	0	0	0

Вид дефекта	Выявляемость дефектов методами ПК					
	ВЗ	Р	М	К	В	А
зональная	0	2	0	0	0	0
Флоксин	0	0	4	0	0	4
Перегрев	0	0	3	0	3	3
Пережог	0	0	3	0	3	3
Повреждения поверхности механические	4	0	0	0	0	0
Пористость газовая	0	4	2	2	4	3
Пресс-утяжины	0	4	0	0	0	5
Прижоги	0	0	5	0	3	0
Пузыри газовые	0	0	0	0	0	3
Пятна мягкие	0	0	0	0	4	0
Разрывы внутренние	0	1	0	0	0	4
Раковины усадочные	0	4	0	0	0	4
Расслоения	0	0	0	0	0	4
Рыхлота усадочная	0	4	0	2	0	3
Растрескивание при хранении	3	0	4	4	4	4
Рванины	5	0	0	4	4	4
Риски	4	0	0	4	4	2
Скворечники	2	4	0	0	2	4
Структура грубозернистая	0	0	3	0	3	3
Трещины:						
– водородные	0	0	5	5	5	5
– горячие	0	3	0	2	2	4
<i>Примечание.</i> Методы: ВЗ – визуальные; Р – радиационные; М – магнитные; К – капиллярные; В – электромагнитные; А – акустические. Оценка выявляемости каждого типа дефектов дана по пятибалльной системе.						

## Глава 5. ВЫБОР ЗАГОТОВОК

### 5.1. Последовательность выбора заготовок

Правильно выбрать заготовку можно лишь при хорошем знании всех процессов и методов получения заготовок. Помощь студенту может оказать систематизация их, приведенная в прил. 1.

Имея классификацию, чертеж детали с указанием ее конфигурации, размеров, материала, технических условий и данных о программе выпуска, заготовку выбирают в такой последовательности: процесс, метод, оборудование.

В первую очередь следует ознакомиться с технологическими возможностями материала, приведенного конструктором на чертеже детали. Так, ковкий чугун марок КЧ 37-12...КЧ 63-2 льется, а не куется. Льется сталь марок 15 Л...50 Л, серый чугун марок СЧ 12-28...СЧ 38-60, высокопрочный чугун марок ВЧ 50-1.5...ВЧ 40-10. Сплавы марок АК 2, АК 4, Д 16, Л 80, ЛО62-1, БрОФ 6,5-0,4, БрОЦС 4-4-2,5 и другие – это типичные деформируемые сплавы. Из этих сплавов изготавливаются различные заготовки путем прокатки, прессования, волочения,ковки и штамповки (или комбинированием этих процессов). В зависимости от степени легирования и способа получения заготовки детали обладают различной прочностью, пластичностью, коррозионной стойкостью.

Сплавы АЛ 2, АЛ 6, АЛ 9, ЛК 80-3, ЛАЖМц 70-6-3-1, БрОЦ 10-2, БрОЦ 8-4 и другие обладают литейными свойствами и хорошо отливаются как в песчаные формы, так и постоянные формы (кокиль, литье под давлением).

В результате этого анализа исключается большое количество процессов и методов получения заготовок из-за несоответствия технологических характеристик процессов и методов свойствам материала.

Если материал детали обладает литейными свойствами и хорошо обрабатывается давлением, то выбор процесса или метода получения заготовки всегда следует связывать с обеспечением заданного качества детали.

На рис. 39 приведены цилиндр компрессора и его поковка. Чем обоснован выбор заготовки для детали в виде поковки? Ведь ци-

линдры и блоки воздушных, газовых и холодильных компрессорных машин обычно изготавливаются литьем из серого чугуна марок СЧ 18-36 или СЧ 21-40.

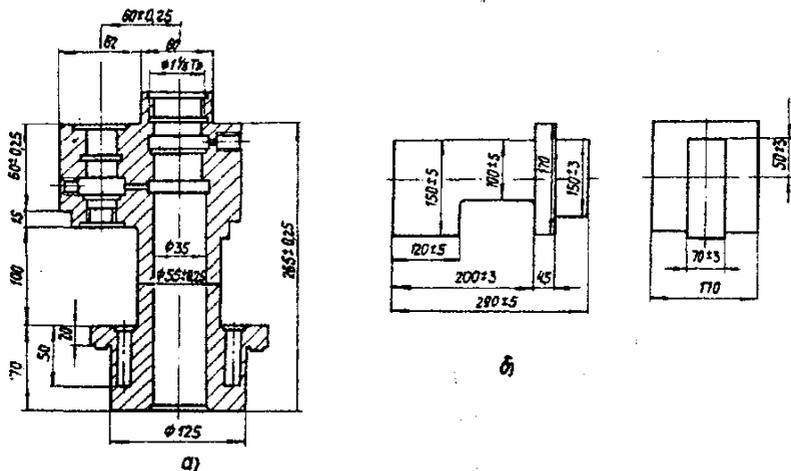


Рис. 39. Цилиндр третьей ступени компрессора:  
*a* – рабочий чертеж (материал – сталь 45, давление при испытании водой – 20 МПа; масса цилиндра – 11 кг); *б* – поковка

Приведенный на рис. 39 цилиндр – для специального газового компрессора высокого давления. Во время работы компрессора цилиндр подвергается значительным переменным усилиям от давления газа, равного 13 МПа, и дополнительным температурным напряжениям. Такой цилиндр должен быть не только прочным, но и плотным. Поэтому конструктор в качестве материала цилиндра избрал сталь 45, а технолог – поковку.

В некоторых конструкциях специальных газовых компрессоров высокого давления в целях увеличения антикоррозийной стойкости зеркала цилиндра применяется нержавеющая сталь марки 3Х13. Эта сталь подвергается только обработке давлением. Следовательно, и в этом случае нужно выбирать в качестве заготовки поковку.

В большинстве случаев крупные цилиндры (массой до 20 т) отливались из серого чугуна. Однако они часто браковались по плотности и из-за наличия на зеркале цилиндра раковин, обнаруживае-

мых при механической обработке. Для ликвидации брака применяют постановку сменных втулок, выполняемых из чугуна с перлитной структурой, или пропитку стенок цилиндра бакелитовым лаком с наполнителем в виде железного порошка. Методы исправления литых отливок крупных цилиндров определяются конструктором или технологом по согласованию с конструктором. Они зависят от ответственности исправляемых мест и должны гарантировать удовлетворение требованиям, предъявляемым к детали в условиях эксплуатации.

В последнее время широко применяют литые коленчатые валы вместо штампованных (рис. 40). Обладая хорошими прочностными характеристиками, литые коленчатые валы обеспечивают более высокий коэффициент использования материала (0,84 вместо 0,76), способны лучше гасить вибрации, менее чувствительны к концентрации напряжений, обрабатываются с большей производительностью, не требуют термической обработки шеек. Полые шатунные и коренные шейки, а в некоторых случаях и щеки, получаемые в процессе изготовления отливки, уменьшают вращающиеся массы и требуют меньшей балансировки.

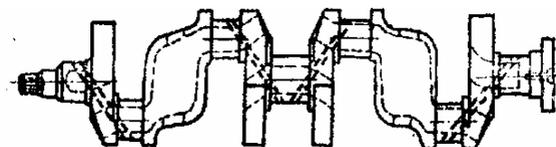


Рис. 40. Литой коленчатый вал

В связи с тем что в проекте обычно дается большая программа, чем на предприятии, где студент проходил практику, следует продумать, годится ли вариант получения заготовки, применяемый предприятием, для ее изготовления по более высокому классу точности. Так, стальные и чугунные отливки выполняются по ГОСТ 26.645–85. Поковки могут выполняться на ковочных машинах и на прессах (ГОСТ 7505–89). Последний ГОСТ регламентирует две группы точности: повышенную (первая группа) и нормальную (вторая группа). На ковочных машинах возможно применение подкладных колец или штампов, позволяющих повысить точность отдельных размеров поковки.

Все это дает возможность не только снизить припуски на обработку и повысить тем самым коэффициент использования металла, но и повысить точность заготовок. Штампованные заготовки по ГОСТ 7505–89 тоже могут выполняться по нормальным классам точности (вторая группа) и по повышенным (первая группа).

Выбор заготовки может быть связан с экономией материала за счет применения оборудования, имеющего более широкие технологические возможности (наличие выталкивателя, высадочного ползуна и т. п.). В качестве примера на рис. 41 показана полая деталь массой 1,25 кг, изготовление которой возможно по пяти вариантам: ковка, штамповка на гидравлическом прессе, молоте, механическом кривошипном прессе и на горизонтально-ковочной машине (ГКМ). Масса поковки получается равной соответственно 4,1; 2,6; 2,78; 2,6; 2,4 кг. Таким образом, наиболее выгодной с точки зрения экономии материала является поковка, отштампованная на ГКМ (коэффициент использования материала 0,5 вместо 0,3 при ковке).

Сложнее выбор заготовки, если ее получают другим, более производительным способом, с привлечением нового оборудования. Так, некоторые стали и сплавы (20, 45, 55, 10X, P9, P6M9, MA8, X18H10T, BT 3-1, ШХ15, ЖС 6-КП и др.) обладают при определенных условиях сверхпластичностью – возможностью больших деформаций за один переход при минимальных усилиях и низких энергозатратах. Как правило, структурная сверхпластичность металлов и сплавов наблюдается в интервале температур  $(0,6...0,85)T_s$  ( $T_s$  – температура плавления) при скоростях деформации (растяжение) порядка  $10^{-4}...10^{-3}$  с.

Однако бесфильтренное волочение, вытяжка и штамповка требуют материалов, способных работать продолжительное время при высоких температурах, специального оборудования с низкими скоростями деформирования, системы контроля и регулирования высокой температуры (700...1000 °С). Эти затраты компенсируются качеством заготовки: однородностью механических свойств, высокой чистотой поверхности, почти не нуждающейся в последующей механической обработке (припуски 0,1...0,2 мм).

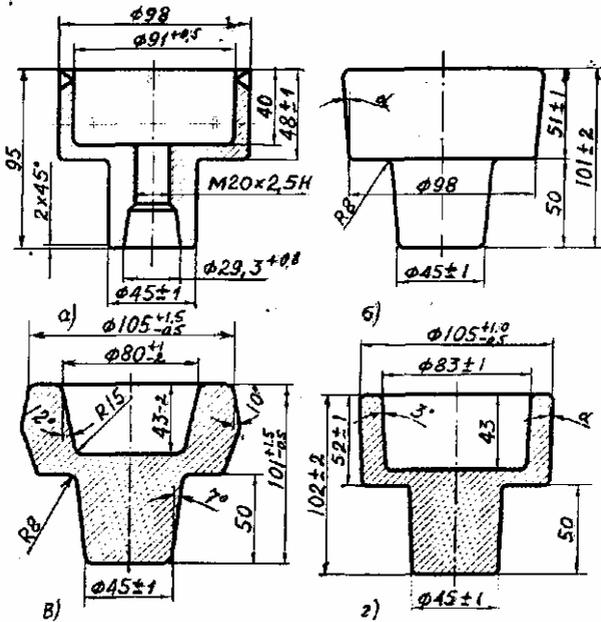


Рис. 41. Поковка втулки с уступом при разных способах ее изготовления: а – бесфильтренное волочение (чертеж втулки); б – бесфильтренное волочение, ковка (для нижника 5°, для кольца 0°); в – бесфильтренное волочение под молотом; г – на ГКМ ( $\alpha = 0$ ) и на механическом прессе ( $\alpha = 2^\circ$ )

В этом случае требуется сложный экономический расчет. Дело в том, что если переход на новый способ кузнечной обработки сопряжен с капитальными затратами на установку нового оборудования, то экономичность нового способа должна быть определена по сроку окупаемости капитальных затрат.

$$\frac{(P_{НК} + P_{НМ}) - (P_{СК} + P_{СМ})}{P_{ЭК} + P_{ЭМ}} \leq 3 \text{ года,}$$

где  $P_{НК}$  и  $P_{НМ}$  – бесфильтренное волочение, капитальные затраты на приобретение нового оборудования при новом способе получения поковки соответственно в кузнечном и механическом цехах;  $P_{СК}$  и  $P_{СМ}$  – балансовая стоимость высвобождаемого оборудования соответственно в кузнечном и механическом цехах;  $P_{ЭК}$  и  $P_{ЭМ}$  – годовая экономия при переходе на новый способ получения поковки соответственно в кузнечном и механическом цехах.

В качестве более простого приема по выбору заготовок определим экономически выгодный технологический процесс формовки и изготовления стержней при отливке станины металлорежущего станка. Масса отливки 700 кг. Годовая программа – 1500 отливок (рис. 42).

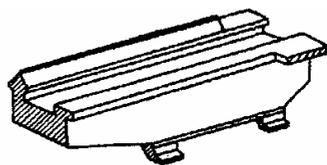


Рис. 42. Станина металлорежущего станка

Сравним четыре способа: а) ручная формовка в опоках по деревянным моделям с применением пневматических трамбовок; б) формовка по деревянным моделям с набивкой при помощи пескомета; в) формовка по металлическим моделям с набивкой при помощи пескомета; г) формовка по металлическим моделям на встряхивающих перекидных машинах.

Основные технологические данные: размеры опок в свету, диктуемые габаритами станка, 2600×950×350 мм; объем опок 1,75 м<sup>3</sup>; стержней в форме 16; число отливаемых станин – 1.

**Формовка.** Для упрощения сравним затраты на формовку только по отличающимся статьям расходов.

По нормативам трудоемкость ручной формовки одной формы с применением пневматического инструмента составляет 190 чел.-мин и при набивке пескометом бесфильтренное волочение 123 чел.-мин. Трудоемкость при формовке на встряхивающих машинах с перекидным столом при составе бригады 10 человек и производительности 5 форм в час составит 120 чел.-ч.

Приняв среднюю стоимость 1 ч работы формовщика 3 руб. 75 коп. и 16 % начисления на заработную плату, получим расходы на заработную плату, включая начисления, по способам:

- а)  $190 \cdot 0,063 \cdot 1,16 = 13$  руб. 80 коп;
- б)  $123 \cdot 0,063 \cdot 1,16 = 9$  руб. 00 коп;
- в)  $123 \cdot 0,063 \cdot 1,16 = 9$  руб. 00 коп;
- г)  $120 \cdot 0,063 \cdot 1,16 = 8$  руб. 60 коп.

При формовке по деревянным моделям (процессы а, б) стоимость оснастки на одну форму составляет 48 руб., а при формовке по металлическим моделям (процессы в, г) будет равна  $15 \cdot 0,865 = 10$  руб.

Определим расходы, связанные с затратами энергии, содержанием оборудования и зданий.

**Ручная формовка.** Время уплотнения одной формы – 1 ч. Стоимость сжатого воздуха из расчета 1,8 коп. за 1 м<sup>3</sup> и работы двух пневматических трамбовок, каждая из которых расходует 30 м<sup>3</sup>/ч, будет равна

$$30 \cdot 2 \cdot 0,018 = 1 \text{ руб. } 10 \text{ коп.}$$

Затратами на ремонт пневмотрамбовок ввиду их малости пренебрегаем. Содержание здания из расчета площади рабочего места 50 м<sup>2</sup> и затрат 0,04 руб./ч за 1 м<sup>2</sup> составит

$$50 \cdot 0,04 = 2 \text{ руб.}$$

Таким образом, для процесса а) эта сумма составит

$$1,1 + 2 = 3 \text{ руб. } 10 \text{ коп.}$$

**Формовка пескометом.** Мощность пескомета 7 м/ч, что позволяет за 1 ч набить 4 формы.

Затраты на электроэнергию при расходуемой мощности 30 кВт-ч и стоимости 1 кВт-ч 15 коп. составят

$$30 \cdot 0,15 = 4 \text{ руб. } 50 \text{ коп.}$$

Амортизация оборудования при 2355 ч односменной его работы в году и стоимости пескомета 43 000 руб. выразится

$$43\,000 \cdot 0,04/2355 = 0,75 \text{ руб.}$$

Погашение капитальных затрат на оборудование составит

$$43\,000 \cdot 0,10/2355 = 1 \text{ руб. } 80 \text{ коп.}$$

Затраты на ремонт и содержание оборудования

$$43\,000 \cdot 0,19/2355 = 3 \text{ руб. } 47 \text{ коп.}$$

Затраты на содержание здания из расчета площади рабочего места при пескометной набивке 70 м<sup>2</sup> составят

$$70 \cdot 0,04 = 2 \text{ руб. } 80 \text{ коп.}$$

Итак, общая сумма затрат

$$4,5 + 0,75 + 1,8 + 3,47 + 2,8 = 13 \text{ руб. } 32 \text{ коп.}$$

На одну форму – 3 руб. 33 коп.

**Формовка на встряхивающих машинах.** Часовая производительность при формовке на машине составляет 8,75 м<sup>3</sup>, что позволяет набить 5 форм.

Затраты на сжатый воздух при расходе  $3 \text{ м}^3 \cdot 3 \cdot 0,018 = 0,054$  руб. Амортизация оборудования при стоимости комплекта 150 000 руб., погашение капитальных затрат, затраты на ремонт и содержание его составят

$$150\,000 \cdot (0,04 + 0,10 + 0,19)/2355 = 21 \text{ руб. } 02 \text{ коп.}$$

Расходы, отнесенные к I форме, равны 4 руб. 20 коп.

Таким образом, сравниваемая часть себестоимости изготовления одной формы составит по способам:

а)  $13,80 + 48,00 + 3,1 = 64$  руб. 90 коп;

б)  $9,00 + 48,00 + 3,33 = 60$  руб. 33 коп;

в)  $9,00 + 10,00 + 3,33 = 22$  руб. 33 коп;

г)  $8,60 + 10,00 + 4,20 = 22$  руб. 80 коп.

**Изготовление стержней.** Для упрощения сравним затраты на изготовление центрального стержня и только по отличающимся статьям расходов.

Центральный стержень станины имеет объем  $44 \text{ дм}^3$ .

Сравним два способа его изготовления: а) вручную по деревянным ящикам; б) на машине по металлическим ящикам.

По нормативам трудоемкость изготовления стержня заданного размера и группы сложности составляет при ручной формовке 95 чел.-мин, а при формовке на машине при условии, что работает бригада из 2 чел. и производительность ее  $50$  съемов в смену  $(2 \cdot 60 \cdot 8/50) \cdot 1,25 = 24$  чел.-мин.

Приняв те же данные, что и в первом случае, получим расходы на заработную плату по процессам в следующих размерах:

а)  $95 \cdot 0,063 \cdot 1,16 = 6$  руб. 90 коп;

б)  $24 \cdot 0,063 \cdot 1,16 = 1$  руб. 80 коп.

**Ручная формовка.** Первоначальная стоимость деревянного стержневого ящика, по данным предприятия, составляет 450 руб., стоимость его ремонта за время службы – 150 руб. За время эксплуатации ящика было изготовлено 150 стержней. При этих условиях стоимость и содержание ящика, отнесенные к одному стержню,  $(450 + 150)/150 = 4$  руб.

При площади рабочего места  $5 \text{ м}^2$  и продолжительности процесса 1,58 ч получим  $5 \cdot 0,04 \cdot 1,58 = 0,32$  руб.

**Формовка на машинах.** Первоначальная стоимость металлического ящика, по данным предприятия, составляет 7600 руб., стоимость ремонта — 3170 руб. Количество стержней, изготовленных в данном ящике, — 5000. Следовательно, стоимость оснастки и ее ремонт, отнесенные к одному стержню, равны

$$(7600 + 3170)/5000 = 2 \text{ руб. } 10 \text{ коп.}$$

Количество стержней, формируемых в час, —  $50/(8 \cdot 1,25) = 5$ .

Затраты на сжатый воздух при расходе его 1 м<sup>3</sup> на один стержень:

$$1 \cdot 5 \cdot 0,018 = 0,09 \text{ руб.}$$

Затраты на амортизацию оборудования, погашение капитальных затрат, на ремонт оборудования при его первоначальной стоимости 25 250 руб. составят

$$(25\,250 \cdot (0,04 + 0,10 + 0,19))/2355 = 3 \text{ руб. } 54 \text{ коп.}$$

Содержание здания из расчета площади рабочего места машины 15 м стоит

$$15 \cdot 0,04 = 0,60 \text{ руб.}$$

Следовательно, расходы, отнесенные к одному стержню, равны

$$(0,09 + 3,54 + 0,6)/5 = 0,85 \text{ руб.}$$

Таким образом, сравниваемые части себестоимости изготовления одного стержня по процессам:

а)  $6,90 + 4,00 + 0,32 = 11 \text{ руб. } 22 \text{ коп.}$

б)  $1,80 + 2,10 + ((0,09 + 3,54 + 0,6)/5) = 4 \text{ руб. } 75 \text{ коп.}$

Из рассмотренных процессов выгоднее, следовательно, машинное изготовление стержней и формовка по металлическим моделям с набивкой формы при помощи пескомета.

Как видно, подобный расчет требует большого количества нормативных, справочных и фактических данных и поэтому затруднителен для студента в стенах учебного заведения. Такие расчеты целесообразно выполнять на базе производственной практики, где студент может получить квалифицированную консультацию специалистов.

Для ориентировочных расчетов по экономике процесса можно воспользоваться данными, приведенными в прил. 2.

Так, в серийном производстве вал из стали марки 45 (рис. 43) можно изготовить из горячекатаного проката диаметром 90 мм и применить горячую штамповку.

Расход проката на одну деталь – 30 кг. Стоимость заготовки в этом случае

$$30 \cdot 95/1000 = 2 \text{ руб. } 85 \text{ коп.}$$

Стоимость одной штамповки (масса заготовки 25 кг)

$$25 \cdot 255/1000 = 7 \text{ руб. } 52 \text{ коп.}$$

Следовательно, в этом случае целесообразен горячекатаный прокат.

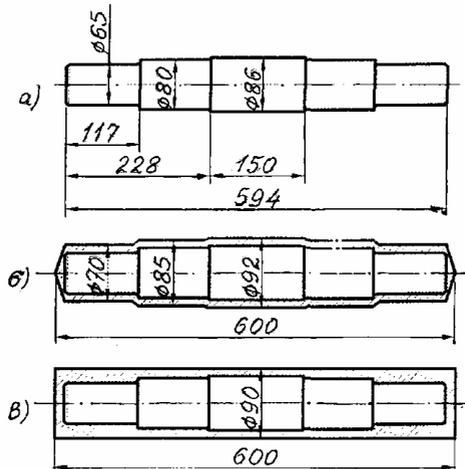


Рис. 43. Вал ступенчатый: а – готовая деталь; б – штампованная поковка; в – заготовка из горячекатаного проката

Немаловажным критерием при выборе заготовок является программа выпуска деталей. При индивидуальном и мелкосерийном производствах конструкцию деталей следует максимально приближать к более простым видам заготовок: к стандартному прокату, поковкам, получаемым ковкой на молотах и прессах, отливкам в песчаные формы, сварным конструкциям, т. е. к таким заготовкам, для производства которых не требуется специальная оснастка.

При крупносерийном и массовом производствах конструкции деталей следует максимально приближать к точным штамповкам и отливкам, специальным и стандартным профилям холодного и горячего проката, так как затраты на специальную оснастку почти всегда с избытком оправдываются экономией материалов и эко-

номией трудоемкости при применении прогрессивных процессов и методов получения заготовок.

Одним из наиболее эффективных технологических процессов изготовления заготовок в крупносерийном и массовом производствах является периодический прокат. Применение такого проката дает возможность более рационально использовать материал, повысить производительность труда. Этот процесс благодаря непрерывности сравнительно легко механизуется и автоматизируется (поперечно-винтовая прокатка, поперечно-клиновья прокатка, прокатка в винтовых калибрах).

Способ поперечно-винтовой прокатки универсален. Он нашел широкое применение для изготовления заготовок деталей типа валов. На станках можно получать заготовки диаметром до 250 мм и длиной до 6000 мм переменного по длине сечения. Коэффициент использования материала 0,85...0,88. Производительность станов до 400 тыс. заготовок в год.

Перестройка стана с изготовления проката одного профиля на другой осуществляется без смены валков (меняется только копир). Получающиеся заготовки не имеют заусенцев, обладают высокой точностью размеров и прямолинейностью. Это позволяет резко сократить припуски на механическую обработку заготовок.

Изготовление коротких заготовок переменного сечения (шары, втулки, ребристые трубы, винты) может быть осуществлено на двух или трехвалковых станах путем прокатки исходной заготовки в винтовых калибрах. Станы обеспечивают высокую точность формы и размеров. Коэффициент использования материала 0,8...0,83. Производительность 100...220 заготовок в минуту.

Для сложных деталей машин в современном машиностроении нашли применение технологические процессы изготовления заготовок, сочетающие в себе несколько методов данного процесса (рис. 44) или несколько методов различных процессов (рис. 45). Это обстоятельство также необходимо иметь в виду при выборе заготовки. В качестве примера можно привести процесс получения заготовки компрессорной лопатки, предусматривающий метод горячего выдавливания с последующим вальцеванием.

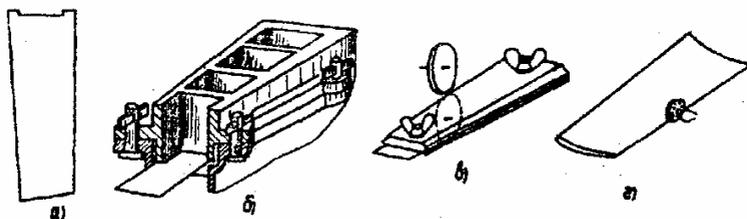


Рис. 44. Изготовление пустотелой беззамковой спрямляющей лопатки:  
*a* – исходная заготовка; *б* – формование и термофиксация;  
*в* – роликовая сварка кромок; *г* – доработка кромок

Сущность процесса заключается в том, что нагретая исходная заготовка (цилиндрическая) сначала осаживается, а затем выдавливается с образованием замка и пера постоянного профиля без закрутки. После второго нагрева заготовка пропускается через вальцы, придающие перу требуемые профиль и закрутку. Преимущества процесса – полная автоматизация и высокая производительность, возможность применения менее мощного технологического оборудования, более высокий коэффициент использования материала (припуски на механическую обработку 0,3...0,5 мм на сторону).

Другой пример (рис. 44). Для изготовления беззамковой пустотелой спрямляющей лопатки из титанового сплава нашел применение комплекс различных методов.

Сначала заготовки спинки и корта вырезаются из полосы сплава ОТ4 толщиной 1,5 мм на гильотинных ножницах. Затем эти исходные заготовки формуются на гидравлическом прессе в штампах, обеспечивающих требуемый профиль и закрутку пера лопатки. Форму лопатки термофиксируют в течение 50 минут в нейтральной среде аргона при температуре 680...700 °С. Профили лопатки свариваются в специальном приспособлении роликовой сваркой.

После сварок по входной и выходной кромкам применяют повторный нагрев для снятия напряжений, вызванных сваркой.

При выборе методов получения заготовки бывают довольно сложные случаи. К ним можно отнести технологический процесс получения заготовки лопатки с большим количеством водоохлаждаемых каналов, где между формообразующими операциями изготовления лопатки предусмотрены механическая обработка и сборка (рис. 45).

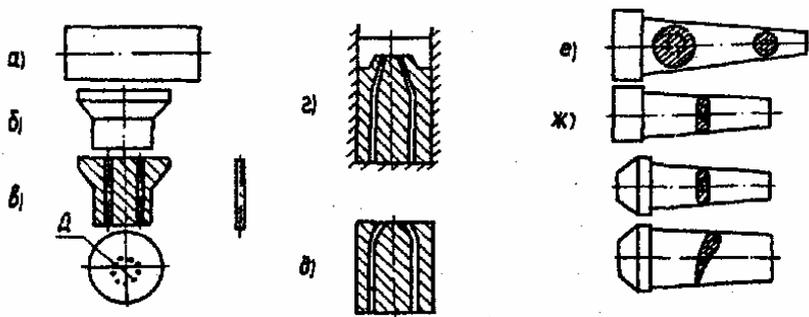


Рис. 45. Изготовление многоканальной (сотовой) охлаждаемой лопатки турбины: *а* – исходная заготовка; *б* – высадка головки; *в* – обработка отверстий и закладка в них заполнителя; *г* – прессование грибовидной заготовки на цилиндре; *д* – отрезка верхней части; *е* – выдавливание конусной заготовки; *ж* – объемная штамповка

В качестве исходной заготовки принят в этом случае круглый прокат. Сначала идёт высадка головки. Затем на окружности диаметром  $D$  обрабатываются мелкие отверстия, в которые вставляются заполнители для обеспечения жесткости отверстий при дальнейшей обработке заготовки давлением. В этом процессе сначала идет прессование грибовидной головки из цилиндра, затем отрезка верхней части, выдавливание конусной заготовки и, наконец, объемная штамповка (безоблойная) за 6 переходов.

Заполнитель в дальнейшем вытравливается из каналов в щелочном растворе в ванне (70 % NaOH + 30 % селитры) при 500...550 °С за 35...50 ч. Герметичность и пропускная способность каналов пера проверяется керосином под давлением 150 кПа. Заготовки, полученные по такой технологии, имеют припуск на сторону  $0,5 \pm 0,1$  на обработку пера и  $1,5^{+0,2}_{-0,1}$  на обработку замка.

## **5.2. Способы механизации и автоматизации процессов изготовления заготовок**

Автоматизация процессов изготовления заготовок, как и механизация, имеет особое значение для повышения качества и снижения себестоимости выпускаемой продукции. В процессе выбора этому вопросу, где это возможно, следует уделять особое внимание.

В зависимости от серийности и характера производства различают следующие способы автоматизации процессов холодной штамповки материалов:

- а) применение автоматических штампов или механизмов для подачи заготовок и удаления изделий и отходов;
- б) использование универсальных штамповочных автоматов, допускающих переналадку для изготовления изделий различных типоразмеров;
- в) применение специальных штамповочных автоматов для изготовления одного определенного изделия;
- г) создание автоматических штамповочных линий или многопозиционных прессов.

Так, автоматические устройства подачи материала (крючкового, рычажного, валкового и роliko-клинового типов) повышают производительность штамповки в 4...6 раз, а использование числа рабочих ходов пресса увеличивается до 90 %.

Наиболее сложна автоматизация штамповки нагретых деталей.

В комплексном автоматизированном цехе штамповки шестерен нагрев точно дозирован, что гарантирует идентичность структуры деталей и их качество по прочности и обрабатываемости. Нагретая в индукторе заготовка штампуется в несколько приемов, автоматическая рука передает ее из ручья в ручей, а затем на обрезающей пресс. После удаления облоя изделие автоматически переносится в установку для выравнивания температуры и затем попадает в приемную тележку для охлаждения (или закаливается и отпускается). Высокая степень автоматизации позволяет одному человеку обслуживать несколько таких установок. На передовых заводах созданы высокоскоростные пресс-автоматы, автоматические линии по производству мелких поковок типа шатунов, колец, крупных штамповок и листов.

Возможности для автоматизации литейного производства значительно расширяются благодаря внедрению прогрессивных процессов литья в оболочковые формы и металлические (кокильные и под давлением).

При литье в металлические формы механизированы раскрытие, закрытие кокилей, установка и удаление стержней, удаление отливок, покрытие кокиля облицовкой, нагрев кокиля и т. п. Весьма совершенный метод производства отливок — литье под давлением. Все операции этого процесса, за исключением заливки, автоматизированы.

В крупносерийном и массовом производствах отливок нашли применение комплексно-механизированные и автоматические линии изготовления опочных форм. Их составляют на автоматических и полуавтоматических формовочных машинах проходного или карусельного типа (встряхивающих, пескострельных и пескодувных с допрессовкой) и прессовых машин. Производительность линии до 400 форм в час.

Для серийного и мелкосерийного производств отливок нашли применение линии с проходными многопозиционными формовочными агрегатами и «скользящей» системой нескольких пар модельных плит. При использовании пескометов «скользящая» система модельных плит заменяется карусельной тележечной системой перемещения по операциям изготовления опочной формы.

В настоящее время на заводах работают десятки автоматических линий: смесеприготовительных в формовочных, литья коленчатых валов других деталей в оболочковые формы, по выплавляемым моделям, в обычные и облицовочные кокили.

### 5.3. Определение размеров заготовки

Размеры заготовки можно определить, используя следующие формулы [2]:

– для внешних поверхностей

$$a_{\min 3} = b_{\min 9} + \sum_{i=1}^n Z_{\min i} ;$$
$$a_{\max 3} = a_{\min 3} + \delta_3 ;$$

– для внутренних поверхностей

$$a_{\max 3} = b_{\max 9} - \sum_{i=1}^n Z_{\min i};$$
$$a_{\min 3} = a_{\max 3} - \delta_3,$$

где  $a_{\max 3}$  и  $a_{\min 3}$  – наибольший и наименьший предельные размеры, относящиеся к заготовке (расчетные);  $b_{\max 9}$  и  $b_{\min 9}$  – наибольший и наименьший предельные размеры, относящиеся к детали (берутся из чертежа);  $\delta_3$  – допуск на размер заготовки (берется из ГОСТов или справочной литературы);  $\sum_{i=1}^n Z_{\min i}$  – суммарный минимальный припуск на обработку элементарной поверхности (рассчитывается по формуле  $Z_{\min} = R_z + (T + \rho + \varepsilon_y)$ , здесь  $R_z$  – высота микронеровностей;  $T$  – дефектный слой;  $\rho$  – пространственная погрешность,  $\varepsilon_y$  – погрешность установки);  $n$  – число технологических переходов для обеспечения заданного качества элементарной поверхности по всему технологическому процессу обработки поверхности.

Расчетные размеры заготовки ( $a_{\min 3}$  для внешних или  $a_{\max 3}$  для внутренних) округляются в сторону их увеличения до того же знака десятичной дроби, с каким дан допуск на размер заготовки.

На чертеже указываются номинальный размер и заданные отклонения, которые принимаются по соответствующим ГОСТам или справочной литературе. От номинальных размеров указываются уклоны и задаются технологические припуски (для изготовления образцов на испытания, для подвешивания детали при термической обработке).

Значения операционных припусков на механическую обработку приведены в прил. 8, допуски на линейные размеры – в прил. 9.

## 5.4. Порядок оформления чертежа заготовки

Чертеж заготовки составляется по чертежу готовой детали. Как уже указывалось, форма и размеры готовой детали в значительной мере определяют технологию ее изготовления. Чем глубже при выборе заготовки проработан вопрос технологии, тем меньше задач остается разрешить при составлении чертежа заготовки.

Чертеж заготовки является основным документом, по которому ведется проектирование технологии и оснастки (штампы пресс-формы, модели, стержни, инструмент).

Чертеж заготовки рекомендуется составлять по возможности в масштабе 1:1. Готовую деталь следует показать условным пунктиром без размеров, дать лишь необходимые контуры, наглядно показывающие припуски на обработку.

Штамповочные уклоны, радиусы переходов и закруглений, наметки или пленки под прошивку даются по соответствующим ГОСТам или нормальям.

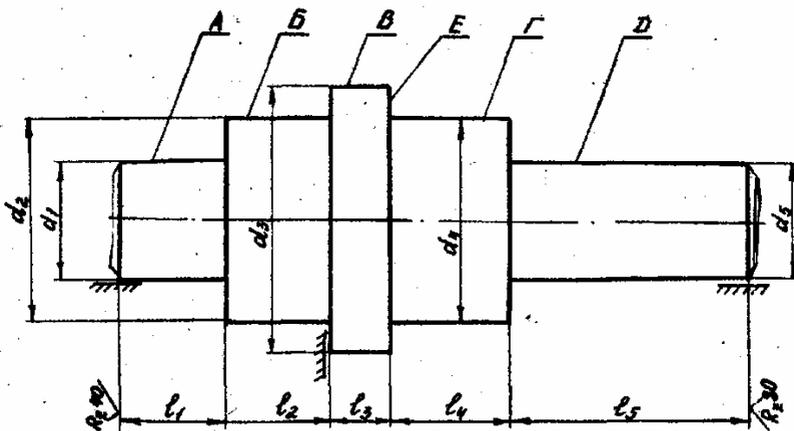
На чертеже должны быть приведены основные технические условия на приемку заготовки, причем в форме особых требований должны быть указаны допустимая кривизна заготовки, эксцентricность прошиваемых отверстий, смещение стержней и другие пространственные погрешности, принятые при расчете припусков на механическую обработку. На заготовке должны быть указаны технологические базы, используемые на первой операции механической обработки.

Типовой чертеж поковки приведен в прил. 3.

*Примечание.* Цены при расчетах скорректировать с учетом цен на существующий период времени (условный коэффициент перевода 1:1000).

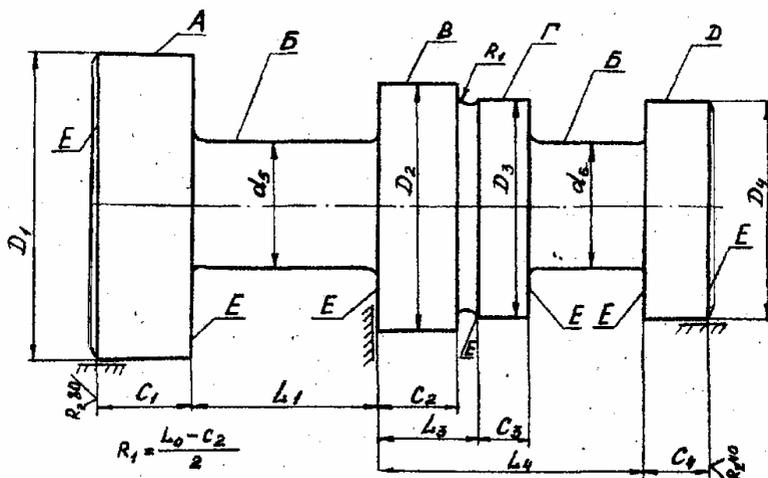
## ВАРИАНТЫ ЗАДАЧ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ ЧЕРТЕЖА ЗАГОТОВКИ

Вариант 1–16. Ступенчатый вал



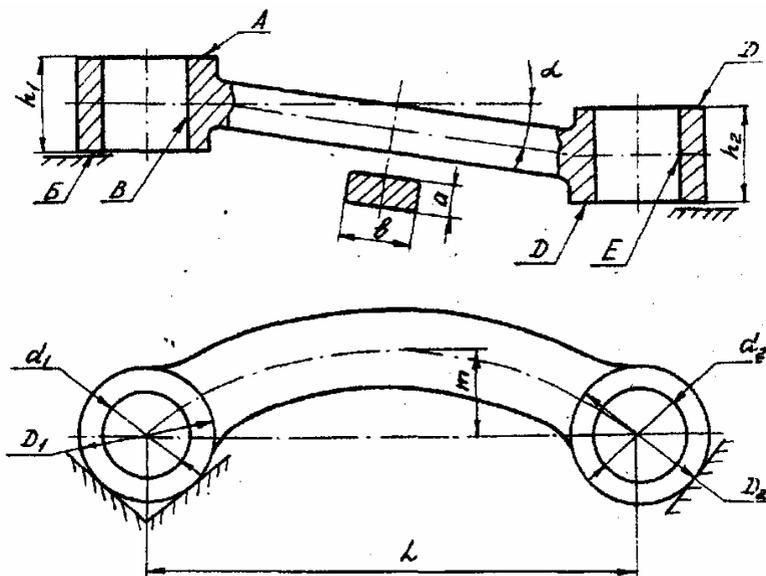
$\infty (\nabla)$  - базы обработки

Вариант 17–21. Блок шестерен

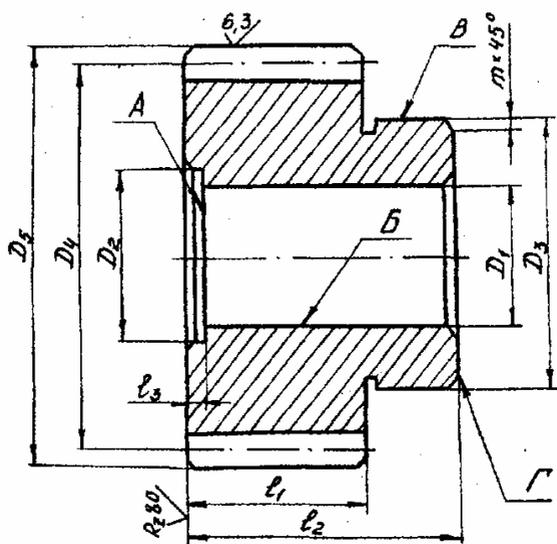


Неуказанные радиусы  $R = 1$  мм

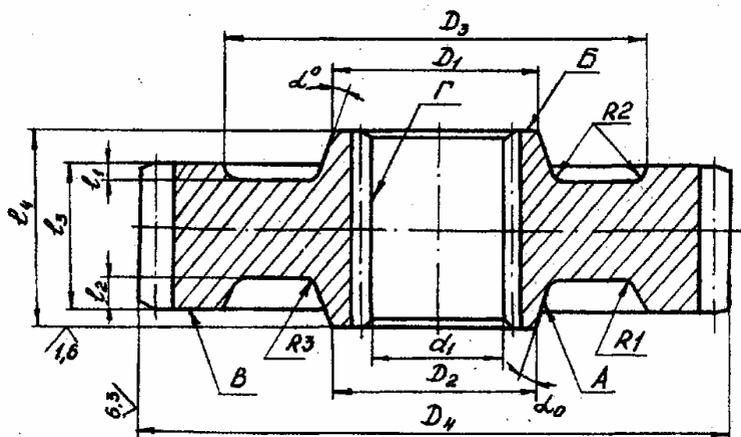
Вариант 22–26. Рычаг



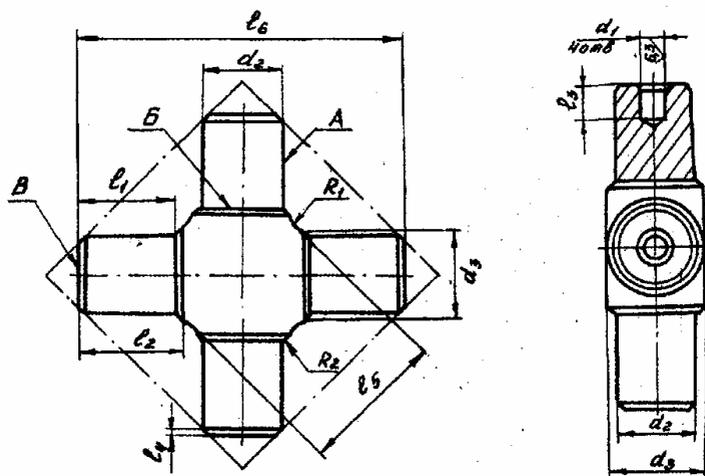
Вариант 27–31. Шестерня привода



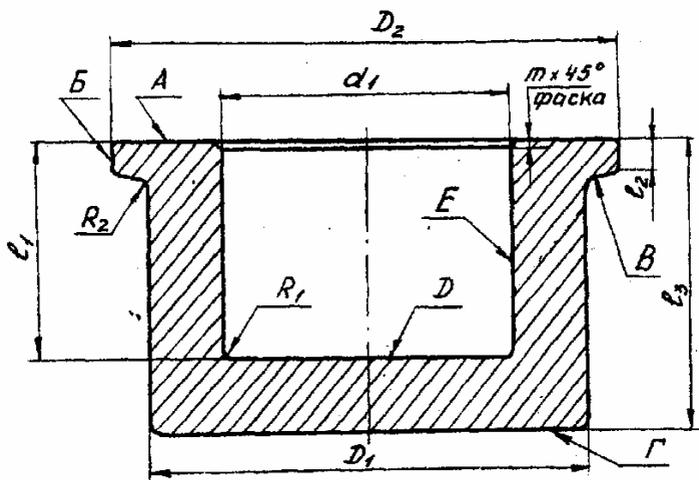
Вариант 32–36. Шестерня



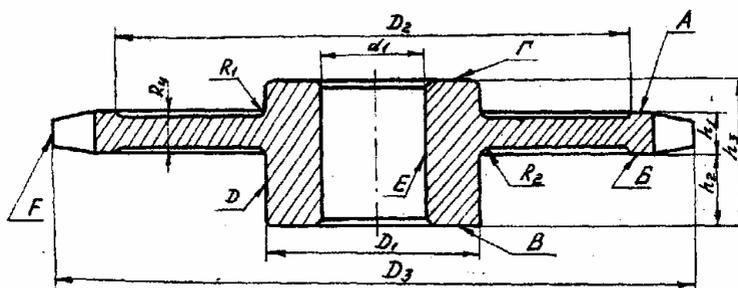
Вариант 37–41. Крестовина карданного вала



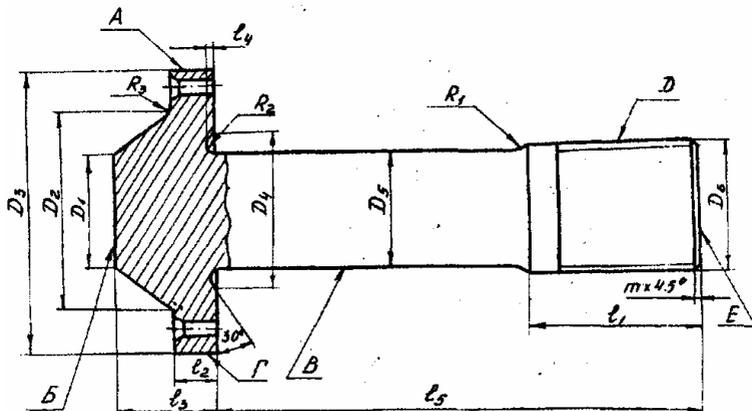
Вариант 42–46. Втулка



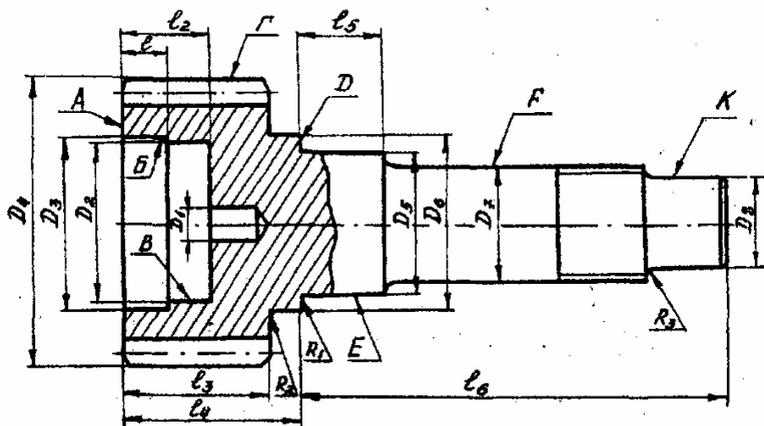
Вариант 47–51. Звездочка привода



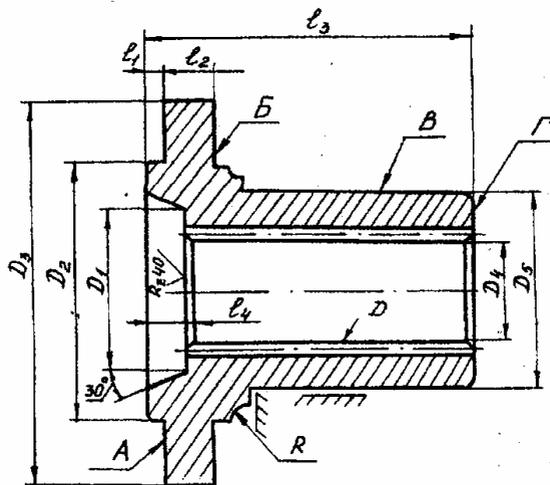
Вариант 52–56. Полуось



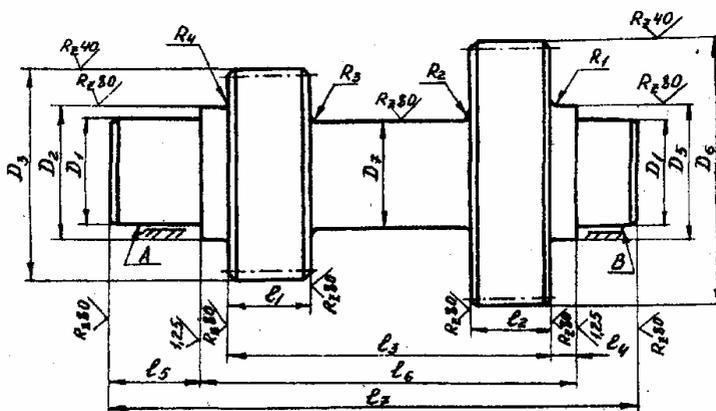
Вариант 57–60. Первичный вал



Вариант 61–65. Муфта



Вариант 66–70. Вал



Варианты данных для ступенчатого вала

Материал	№	Программа выпуска, тыс. шт. в год	Размеры, мм										Чистота поверхностей, мкм							
			d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	d <sub>4</sub>	d <sub>5</sub>	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	l <sub>3</sub>	l <sub>4</sub>	l <sub>5</sub>	A	B	B	Г	Д	Е		
2Х13	1	530	20	35	30	25	20	10	10	20	10	10	10	60	1,25	R <sub>z</sub> 40	R <sub>z</sub> 320	0,63	2,5	5
Ст. 15	2	15	20	25	30	25	20	10	10	20	10	10	60							
Ст. 40Х	3	410	33	55	57	45	32	20	25	15	30	150	5	10	20	1,25	2,5	5	10	
Ст. 25	4	19	33	55	57	45	32	95	25	32	30	50								
20Х	5	240	28	40	60	55	28	80	30	20	25	60	2,5	20	20	0,65	10	20		
Ст. 3	6	21	28	40	60	55	28	64	18	30	25	52								
Ст. 40	7	440	38	52	68	32	30	15	20	18	100	50	2,5	1,25	R <sub>z</sub> 80	R <sub>z</sub> 40	R <sub>z</sub> 20	R <sub>z</sub> 320		
18ХГТ	8	17	38	52	68	32	30	15	50	38	60	52								
Ст. 20	9	280	23	30	35	28	22	14	22	10	14	80								
30ХГСА	10	27	23	30	35	28	22	34	22	30	24	43	2,5	0,63	R <sub>z</sub> 40	1,25	R <sub>z</sub> 80	R <sub>z</sub> 80		
Ст. 30	11	390	50	40	60	42	35	16	30	14	22	180	1,25	20	10	2,3	5	10		
Ст. 5	12	22	31	40	60	42	35	26	30	34	22	48								
12ХНЗА	13	360	32	46	58	60	30	5	20	12	16	200	R <sub>z</sub> 20	1,25	R <sub>z</sub> 80	0,63	R <sub>z</sub> 320	R <sub>z</sub> 320		
Ст. 35	14	13	32	46	58	60	30	5	40	24	30	110								
X17	15	490	25	55	45	60	24	70	15	30	17	65	R <sub>z</sub> 40	2,5		R <sub>z</sub> 80	R <sub>z</sub> 20	0,63		
Ст. 10	16	25	25	55	45	60	24	56	17	28	22	63								

### Варианты данных для блока шестерен

№	Размеры, мм										Прог- рамма, шт. в год	Материал	Шероховатость, мкм								
	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>6</sub>	C <sub>1</sub>	I <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>			C <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>	A	Б	В	Г	Д	Е
17	80	60	40	30	40	30	30	60	25	30	20	100	15	1000	40X	∅	R <sub>z</sub> 40	0,63	R <sub>z</sub> 160	R <sub>z</sub> 20	00
18	82	64	42	36	42	32	28	62	20	25	15	90	20	10 · 10 <sup>5</sup>	19XГНМ	1,25	∅	R <sub>z</sub> 80	R <sub>z</sub> 20	0,63	0,32
19	60	58	46	38	34	32	30	250	20	25	18	60	14	2500	30XГСА	R <sub>z</sub> 320	0,63	∅	0,16	R <sub>z</sub> 20	R <sub>z</sub> 80
20	50	58	50	46	46	42	25	52	28	34	15	80	20	8000	40XГНМ	R <sub>z</sub> 40	R <sub>z</sub> 20	R <sub>z</sub> 320	∅	1,25	1,25
21	40	32	22	40	32	28	12	44	16	20	10	50	12	5 · 10 <sup>5</sup>	40	0,32	R <sub>z</sub> 40	R <sub>z</sub> 320	1,25	∅	0,63

### Варианты данных для рычага

№	Программа выпуска детали, тыс. шт. в год	Мате- риал	Размеры, мм						Шероховатость поверхности, мкм										
			h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	a	b	D <sub>1</sub>	d <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	d <sub>2</sub>	α	m	α	α	А	Б	В	Д	Е
22	10	Ст. 15	20	16	12	28	50	30	40	18	5°	0	200	12,5	12,5	12,5	0,8	1,6	
23	300	Ст. 35	18	14	11	26	52	30	38	16	0°	20	180	R <sub>z</sub> 40	R <sub>z</sub> 20	0,8	12,5	12,5	
24	400	Ст. 4	40	за	30	15	42	20	34	14	8°	0	190	R <sub>z</sub> 320	1,6	R <sub>z</sub> 60	0,8	1,6	
25	15	Ст. 20X	18	22	14	30	38	16	54	31	0°	25	150	12,5	0,8	1,25	R <sub>z</sub> 40	R <sub>z</sub> 80	
26	20	40X	50	25	25	30	80	40	40	29	0°	0	250	0,8	R <sub>z</sub> 40	12,5	R <sub>z</sub> 20	1,6	

Варианты данных для шестерни привода

№	Программа выпуска детали, тыс. шт. в год	Материал	Размеры, мм										Шероховатость поверхности, мкм			
			D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	l <sub>3</sub>	m	A	Б	В	Г	
27	50	40X	18	26	34	52	60	21	31	3,5	1,5	12,5	0,8	0,8	1,0	
28	102	Ст. 5	20	25	38	50	64	22	32	4	2	12,5	6,3	10,5	R <sub>z</sub> 40	
29	80	X17	20	28	40	52	60	26	35	3	1,5	R <sub>z</sub> 20	R <sub>z</sub> 320	1,25	5,5	
30	140	2X14	22	30	38	56	64	25	35	3,5	1,5	12,5	R <sub>z</sub> 40	0,8	0,8	
31	230	Ст. 10	24	32	40	58	66	27	37	4	2	6,3	0,8	R <sub>z</sub> 20	R <sub>z</sub> 40	

Варианты данных для шестерни  $\alpha = 5^\circ$

№	Программа выпуска детали, тыс. шт. в год	Материал	Размеры, мм														Шероховатость поверхности, мкм			
			d <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	l <sub>3</sub>	l <sub>4</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	A	Б	В	Г		
32	55	Ст. 1	36	55	52	87	128	4	10	28	39	6	6	6	6	R <sub>z</sub> 20	1,6	6,3	6,3	
33	7	16ГС	38	56	54	89	127,8	5	10	30	40	6	7	6	6	R <sub>z</sub> 40	1,6	6,3	6,3	
34	160	14ХГ2	40	50	50	88	130	5	11	30	40	7	8	7	7	R <sub>z</sub> 80	1,25	12,5	15,1	
35	200	12ХГ3	40	52	52	90	130	6	12	28	38	7	8	7	7	R <sub>z</sub> 180	1,25	5,5	R <sub>z</sub> 20	
36	15	10Г2А	42	52	56	90	138	4	12	30	39	8	7	8	8	R <sub>z</sub> 320	1,5	12,5	6,3	

Варианты данных для крестовины карданного вала

№	Программа выпуска детали, тыс. шт. в год	Материал	Размеры, мм										Шероховатость, R <sub>a</sub>			
			d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	l <sub>3</sub>	l <sub>4</sub>	l <sub>5</sub>	l <sub>6</sub>	R <sub>1/2</sub>	A	B	В	Г
37	150	Ст. 2	8	25,23	30,5	27,5	30,3	13,3	2,5	50	108,6	20/1,5	3,2	3,2	3,2	∞
38	17	50Х	8	26	30	27	30	13	2,5	50	108	20/1,5	3,2	3,2	6,3	∞
39	360	40Г	10	25	31	28	30,5	14	2	50	108	20/1,5	R <sub>z</sub> 20	1,6	3,2	∞
40	500	16ГС	10	25,5	31,5	28,5	31	14,5	3	50	109	20/1,5	R <sub>z</sub> 40	6,3	3,2	∞
41	115	14ХГ2	9	26	31	28	32	15	3	50	110	20/1,5	R <sub>z</sub> 80	15	3,2	∞

Варианты данных для втулки

№	Программа выпуска детали, тыс. шт. в год	Материал	Размеры, мм										Шероховатость поверхности, мкм				
			d <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	l <sub>3</sub>	m	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	A	B	В	Г	Д	Е
42	100	Ст. 3	65	120	140	60	12	80	2,5	5	3	∞	∞	1,6	6,3	6,3	6,3
43	200	Ст. 20	66	121	142	61	–	82	2	6	2	R <sub>z</sub> 20	R <sub>z</sub> 40	1,6	12,5	1,25	1,6
44	300	25ХГСА	67	122	145	62	14	83	2,5	4	3	R <sub>z</sub> 80	R <sub>z</sub> 320	6,3	1,6	6,3	1,25
45	400	12Г2А	68	123	147	63	–	84	2	5	4	∞	R <sub>z</sub> 20	12,5	1,25	1,6	5
46	500	12Х17	69	124	148	64	16	86	3	4	3	∞	R <sub>z</sub> 40	1,25	1,6	6,3	12,5

Варианты данных для звездочки привода

№	Программа выпуска детали, тыс. шт. в год	Материал	Размеры, мм										Шероховатость поверхности, мкм						
			d <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	l <sub>3</sub>	h <sub>4</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	A	B	В	Г	Д	Е	F
47	97	Ст. 4	25	42	143,8	180	8,8	20,3	38	7	3	3	12,5	12,5	12,5	0,8	1,6	12,5	
48	68	Ст. 30	26	43	144	1,81	8,9	21,4	39	7	3	4	R <sub>20</sub>	0,8	6,3	12,5	12,5	1,6	
49	163	50X	27	44	144,8	182	9,0	22,5	40	8	4	3	R <sub>320</sub>	1,6	R <sub>60</sub>	12,	0,8	1,6	
50	37	30X1	28	45	145	183	9,1	22,6	41	8	3	4	12,5	0,8	1,25	1,6	R <sub>40</sub>	R <sub>80</sub>	1,25
51	217	12Г2	29	46	145,8	184	9,2	23,7	42	8	3	3	0,8	R <sub>40</sub>	12,5	6,3	R <sub>20</sub>	1,6	R <sub>320</sub>

Варианты данных для полуоси E =

№	Программа выпуска детали, тыс. шт. в год	Материал	Размеры, мм													Шероховатость поверхности, мкм						
			D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>6</sub>	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	l <sub>3</sub>	l <sub>4</sub>	l <sub>5</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	m	A	Б	В	Г	Д
52	173	Ст. 5	82	128	195	122	50	56	100	12	32	8	850	10	8	6	4	6,3	∞	1,25	6,3	1,6
53	191	Ст. 40	83	129	196	123	51	57	101	13	33	9	851	11	9	7	4	1,6	6,3	1,25	6,3	1,6
54	215	40X	84	130	197	124	52	58	102	14	34	10	852	12	10	8	4	R <sub>40</sub>	1,6	5,2	12,5	1,5
55	317	12ГА	85	131	198	125	53	59	103	15	35	11	853	13	11	9	4	R <sub>80</sub>	6,3	7,3	5	R <sub>80</sub>

### Варианты данных для первичного вала

№	Программа выпуска детали, тыс. шт. в год	Материал	Размеры, мм														Шероховатость поверхности, мкм							
			D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>6</sub>	D <sub>7</sub>	D <sub>8</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>5</sub>	I <sub>6</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	A/B	B/Г	Д/E	F	К
56	50	Ст. 5	15	77,5	86	125	-	80	45	30	-	40	50	52	-	400	2	3	2,5	6,3	0,8	ϕ	1,6	0,8
57	100	Ст. 60	16	78	87	126	60	-	46	31	-	-	51	55	73	400	2	3	2,5	6,3	R <sub>z</sub> 40	0,8	6,3	1,6
58	150	60X	17	79,5	88	127	-	81	47	32	16,5	41	52	60	74	400	3	2	3	6,3	1,6	6,3	0,8	1,6
59	200	15ГХ	18	80	89	128	61	-	48	33	17	42	53	65	75	400	3	4	4	R <sub>z</sub> 40	0,8	1,6	6,3	0,8
60	250	Ст. 7	19	81	90	129	-	82	49	34	18	-	54	70	-	400	4	3	3	R <sub>z</sub> 80	ϕ	R <sub>z</sub> 20	0,8	6,3

### Варианты данных для муфты

№	Программа выпуска детали, тыс. шт. в год	Материал	Размеры, мм														Шероховатость поверхности, мкм			
			D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	R	A	B	В	Г	Д			
61	111	Ст. 8	46	70	120	35	51	4	9,5	64	10,5	8	R <sub>z</sub> 40	R <sub>z</sub> 320	0,32	R <sub>z</sub> 40	R <sub>z</sub> 40			
62	159	Ст. 50	47	71	121	36	52	5	10	65	11	8	R <sub>z</sub> 20	R <sub>z</sub> 80	0,16	6,3	1,6			
63	167	20X	48	72	122	37	53	6	11	66	12	8	0,32	1,6	R <sub>z</sub> 320	R <sub>z</sub> 20	6,3			
64	173	30XГА	49	73	123	38	54	7	12	67	13	8	R <sub>z</sub> 320	R <sub>z</sub> 20	1,25	2,5	R <sub>z</sub> 40			
65	184	15X16	50	74	124	39	55	8	13	68	14	8	12,5	R <sub>z</sub> 40	R <sub>z</sub> 80	1,25	R <sub>z</sub> 320			

### Варианты данных для вала

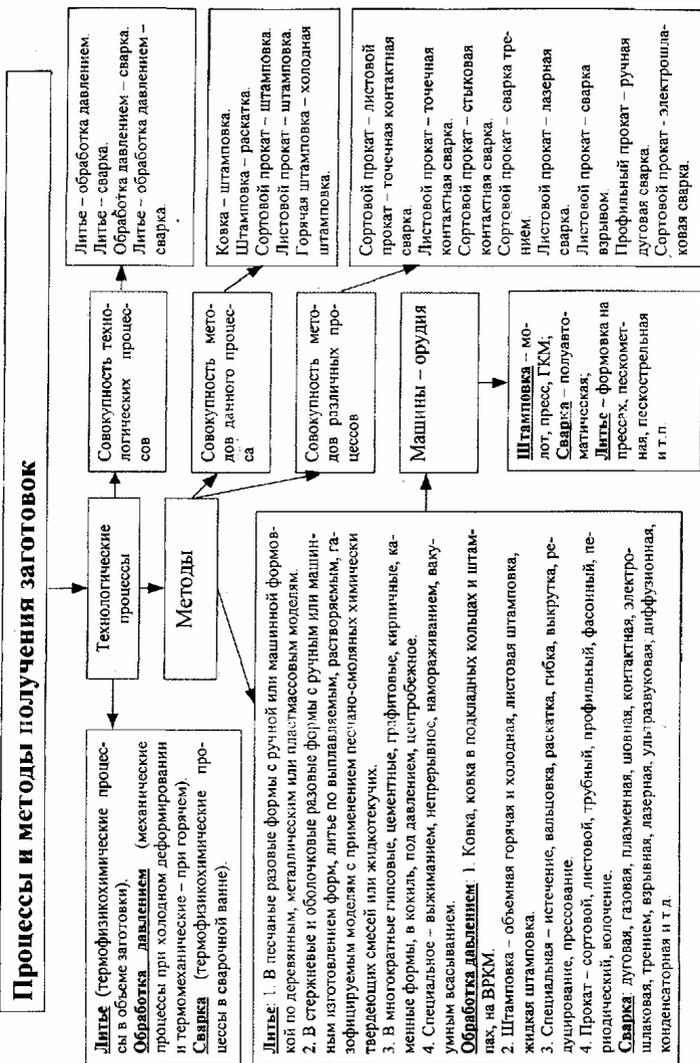
№	Программа выпуска детали, тыс. шт. в год	Материал	Размеры, мм														Шероховатость, мкм			
			D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>6</sub>	D <sub>7</sub>	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	l <sub>3</sub>	l <sub>4</sub>	l <sub>5</sub>	l <sub>6</sub>	l <sub>7</sub>	R <sub>1,2</sub>	R <sub>3,4</sub>	A	B
66	120	Ст. 10	30	41	64	30	41	72	32	16	16	74	7	19	86	124	4	4	1,25	1,25
67	240	Ст. 20	31	42	65	31	42	73	33	17	17	75	8	20	87	125	4	4	12,5	12,5
68	315	50X	32	43	66	32	43	74	34	18	18	76	9	21	88	126	4	4	0,6	0,6
69	97	40X	33	44	67	33	44	75	35	19	19	77	10	22	89	127	4	4	6,3	6,3
70	150	Ст. 30	34	45	68	34	45	76	36	20	20	78	11	23	90	128	4	4	0,8	0,8

Пример выполнения задания приведен в прил. 4.

## Библиографический список

1. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя : в 3 т. / В.И. Анурьев. – М. : Машиностроение, 1982. – Т. 3. – 575 с.
2. Афонькин, М.Г. Производство заготовок в машиностроении / М.Г. Афонькин, М.В. Магницкая. – Л. : Машиностроение, 1987. – 257 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. – Т. 2. – 495 с.
4. Иосилевич, Г.Б. Детали машин / Г.Б. Иосилевич. – М. : Машиностроение, 1988. – 368 с.
5. Балакшин, Б.С. Теория и практика технологии машиностроения : в 2 кн. / Б.С. Балакшин. – М. : Машиностроение, 1982.
6. Колесов, И.М. Основы технологии машиностроения / И.М. Колесов. – М. : Высш. шк., 1999. – 591 с.
7. Марочник сталей и сплавов / В.Г. Сорокин [и др.]. – М. : Машиностроение, 1989. – 640 с.
8. Митрофанов, С.П. Групповая технология машиностроительного производства : в 2 т. / С.П. Митрофанов. – Л. : Машиностроение, 1983.
9. Технология машиностроения. Ч. II. Проектирование технологических процессов : учеб. пособие / под ред. С.Л. Мурашкина. – СПб. : Изд-во СПбГТУ, 2000. – 498 с.
10. Боровков, В.М. Производство и выбор заготовок : метод. указания по дипломному проектированию. – Тольятти. : ТолПИ, 1986. – 20 с.
11. Михайлов, А.В. Проектирование технологических процессов изготовления деталей : учеб. пособие к курсовому и дипломному проектированию / А.В. Михайлов. – Тольятти. : ТолПИ, 2000.
12. Размерный анализ технологических процессов / под ред. В.В. Матвеева. – М. : Машиностроение, 1982. – 543 с.
13. Точность и производственный контроль в машиностроении : справочник / И.И. Болонкин [и др.]. – Л. : Машиностроение, 1983. – 368 с.
14. Краткий справочник металлиста / под общ. ред. П.Н. Орлова, Е.А. Скороходова. – М. : Машиностроение, 1987. – 960 с.

15. Кован, В.М. Основы технологии машиностроения / В.М. Кован. – М. : Машиностроение, 1959. – 352 с.
16. Подураев, В.Н. Физико-химические методы обработки / В.Н. Подураев, В.С. Камалов. – М. : Машиностроение, 1973. – 346 с.
17. Охрана труда в машиностроении : учеб. для машиностроительных вузов / под ред. Е.Я. Юдина, С.В. Белова. – М. : Машиностроение, 1983. – 432 с.
18. Расчет припусков и межпереходных размеров в технологии машиностроения : учеб. пособие / Я.М. Радневич [и др.]. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000. – 340 с.
19. Маталин, А.А. Технология машиностроения / А.А. Маталин. – Л. : Машиностроение, 1985. – 496 с.
20. ГОСТ 26645–85. Отливки из металлов и сплавов. Введ. 01.07.87 [Электронный ресурс]. – URL : <http://gost.ru>.
21. ГОСТ 7505–89. Поковки стальные штампованные. Введ. 01.07.90 [Электронный ресурс]. – URL : <http://gost.ru>.
22. ГОСТ 16504–74. Испытание и контроль качества продукции. Введ. 01.0.82 [Электронный ресурс]. – URL : <http://gost.ru>.
23. ГОСТ 18252–73. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. Введ. 01.07.80 [Электронный ресурс]. – URL : <http://gost.ru>.



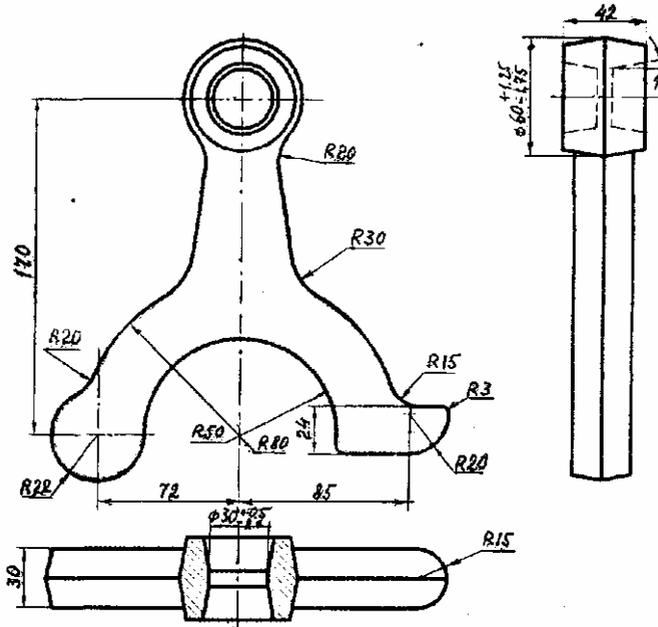
Обозначение шероховатости поверхности заготовок по ГОСТ 2.309 - 71

*Средняя стоимость материала или заготовки*

Вид заготовки или материала	Средняя стоимость 1 т материала						
	Сталь			Цветные металлы и сплавы			
	Углеродистая	Нержавеющая	Кислоугл.	Алюминий	Бронза	Латунь	Медь
<b>Отливка:</b>							
– в песчаные формы	400	–	2000	1700	1300	1000	–
– в корковые формы	1300	–	–	–	–	1000	–
– по выплавляемым моделям	3000	–	–	–	–	–	–
Горячая штамповка	255	400	1250	–	1250	–	–
Холодная штамповка	430	700	2650	–	–	1500	1540
Газовая вырезка из листа	200	–	–	–	–	–	–
<b>Сварная заготовка:</b>							
– из листового и сортового проката	300	–	–	–	–	–	–
– из отливок и проката	380	–	–	–	–	–	–
<b>Сортовой прокат горячекатаный:</b>							
– мелкий (до 19 мм)	110	288	300	800	–	800	950
– средний (20...110 мм)	95	250	1200	600	–	700	900
– крупный (120...150 мм)	67	165	955	500	850... 2500	600	850
– калиброванный	150	–	–	–	–	–	–
– специального профиля	140	–	–	–	–	–	–
<b>Листовой прокат горячекатаный:</b>							
– тонкий (до 4 мм)	105	260	1500	660	–	800	820
– толстый (свыше 4 мм)	94	260	1500	640	–	350	780
Трубы толстостенные	140	400	1500	–	1000... 2700	750	1200
Угольники и швеллер	90	–	–	–	–	–	–

Вид заготовки или материала	Средняя стоимость 1 т материала						
	Сталь			Цветные металлы и сплавы			
	Углеродистая	Нержавеющая	Кислоугл.	Алюминий	Бронза	Латунь	Медь
Холодный прокат:							
– лист тонкий (до 4 мм)	160	320	1650	600	–	780	900
– сортовой профильный	400	–	–	–	–	–	–
Холодный прокат:							
– фасонный профильный	610	1250	2490	–	1400... 3700	900	1100
– полосовой	400	975	2210	1300	1100... 3000	800	820
– волооченный	150	330	–	–	1000... 3500	1000	1150

*Рекомендации по проектированию чертежа поковки*



*Типовой рабочий чертеж поковки*

Неуказанные радиусы – 2 мм.

Неуказанные штамповочные уклоны – 7°.

Допуски:  $V^{+1,5}_{-0,8}$ ,  $\Gamma^{+1,4}_{-1,2}$ .

*Технические условия на поковку*

1. ТО – отжиг, НВ 187...229.
2. Заусенец – не допускается.
3. Очистка поверхности – травление.
4. Внешние дефекты – глубиной не более 1/2 фактического припуска.
5. Дефекты формы – сдвиг не более 1 мм, эксцентricность не более 1 мм.
6. Особые требования: А – место клеймения; Б – образцы для механических испытаний; В – место отпечатка при испытании твердости.

### ***Составление чертежа поковки***

При разработке технологического процесса горячей штамповки главной целью является получение заданной детали. Конфигурация и размеры детали в основном определяют схему технологического процесса штамповки. По чертежу детали составляют чертеж поковки. От правильной разработки чертежа поковки зависит возможность ее рационального изготовления. Чертеж поковки разрабатывают в следующей последовательности:

- 1) выбирают поверхность разъема;
- 2) назначают припуски, допуски и напуски;
- 3) определяют штамповочные уклоны и строят линию разъема;
- 4) определяют радиусы закруглений;
- 5) в поковках с отверстиями конструируют наметки под прошивку и определяют размеры пленки под прошивку;
- 6) решают вопросы конструирования, связанные с расположением баз для последующей обработки резанием, мест клеймения и т. д.

### ***Выбор поверхности разъема***

Поверхностью разъема называют поверхность соприкосновения различных частей штампа между собой. Она должна быть в виде плоскости или сочетания плоскостей. Следует воздерживаться от выбора криволинейной поверхности разъема.

Линией разъема называют замкнутую линию (и ее проекцию), образуемую по поверхности разъема на стыке двух частей полости окончательного ручья. Линия разъема проходит по наружному контуру поковки. Обычно поверхность разъема является плоскостью, поэтому в дальнейшем будет применяться термин «плоскость разъема».

При выборе плоскости разъема прежде всего нужно учитывать возможность выемки поковки из верхнего и нижнего штампов.

Желательно, чтобы плоскость разъема совпадала с плоскостями детали, имеющими наибольшие габаритные размеры, тогда третий габаритный размер (высота детали) будет наименьшим. При этом глубина полости штампа будет наименьшей, а ширина и длина наибольшими, что обеспечит максимальную прочность штампа, легкость его изготовления и хорошую выемку штампованной поковки из неглубокой полости. При несимметричной поковке глубокие по-

лости должны быть расположены в верхнем штампе, так как металл вверх течет лучше.

При выборе поверхности разъема необходимо учитывать возможность контроля сдвига верхнего штампа относительно нижнего по внешнему виду поковки после обрезки заусенца и получения линии разъема наиболее простой формы, что упрощает обрезной штамп.

Для контроля указанного сдвига необходимо, чтобы полость разъема пересекала вертикальную поверхность поковки (рис. 3.1). Тогда линия разъема в верхнем и нижнем штампах будет одинаковой, и при обрезке заусенца сдвиг можно немедленно обнаружить, потому что срезается часть сдвинутой верхней вертикальной поковки. Если деталь имеет только одну бобышку, то поверхность верхнего штампа выбирают гладкой, а поковку располагают только в верхнем штампе (рис. 3.1, в), но в этом случае затруднительно удалить заусенец, так как остаются острые кромки и получается некачественный срез.

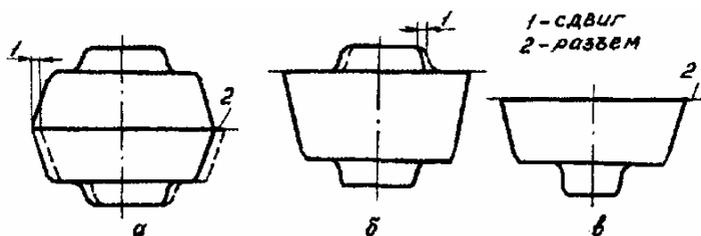


Рис. 3.1. Плоскость разъема штампов: *а* – назначена правильно, сдвиг обнаруживается при обрезке заусенца; *б* – назначена неправильно, сдвиг не обнаруживается; *в* – расположение при односторонней бобышке

При выборе плоскости разъема надо учитывать и другие факторы, например, удобство и качество последующей обрезки заусенца, необходимость уравнивания сдвигающих усилий, возникающих при штамповке изогнутых поволоков, и т. д.

### ***Припуски, допуски и напуски***

Штамповкой нельзя получить абсолютно точные поковки, поэтому назначают допуски. Допуски учитывают недоштамповку поковки по высоте, износ ручьев штампов, сдвиг штампов и т. д.

Если шероховатость поверхности и тонкость поковки, обусловленные допусками, удовлетворяют требованиям, предъявляемым к готовой детали, то больше никаких припусков не назначают. Если допуски или шероховатость поверхности не удовлетворяют указанным требованиям, то рассматривают возможность получения более точных поволовок калибровкой, чеканкой, улучшением процесса штамповки, нагрева и т. д. В противном случае назначают припуски на последующую обработку резанием. В припуски входят дефектный слой металла, вмятины от окалины, искривление поковки, обезуглероженный слой и т. д. Этот дефектный слой удаляют обработкой резанием. При повышенных требованиях к точности детали назначают дополнительный припуск на дополнительную обработку резанием, например шлифованием. Кузнечный припуск на сторону включает также и отрицательный допуск на сторону, поэтому припуск и допуск взаимосвязаны и зависят друг от друга.

Припуски назначают только на отдельные поверхности поковки, в основном на поверхности сопряжения с другими деталями. Припуски, допуски, напуски на штампуемые поковки регламентированы ГОСТ 7505–89.

### ***Штамповочные уклоны***

На все вертикальные поверхности поковки назначают штамповочные уклоны, необходимые для легкого и быстрого удаления штампованной поковки из штампа. В частности, штамповочные уклоны облегчают заполнение полости штампа осаджением.

Различают наружные и внутренние штамповочные уклоны (рис. 3.2, *а*). Наружный штамповочный уклон  $\gamma_{\text{нар}}$  — это уклон на поверхности поковки, которая в процессе остывания отходит от поверхности ручья штампа (рис. 3.2, *б*).

Внутренний штамповочный уклон  $\gamma_{\text{вн}}$  — это уклон на поверхности поковки, которая при остывании прижимается к поверхности выступа штампа (рис. 3.2, *в*). При этом металл плотно охватывает выступ ручья, и снять его с этого выступа весьма затруднительно, если уклон  $\gamma_{\text{вн}}$  мал. При выемке плохой поковки из штампа выступ сильно разогревается и его торцовая часть при штамповке следующих поволовок может сминаться, принимая форму гриба. В этом случае снять поковку с выступа еще труднее.

При недостаточном  $\gamma_{нар}$  или недостаточных радиусах на входе в полость ручья ее кромки также могут сминаться, что затруднит выемку поковки (рис. 3.2, *з*). Практикой установлено, что значение  $\gamma_{вн}$  должно быть больше  $\gamma_{нар}$  на 2–3°, для большинства случаев 5–7° (ГОСТ 7505–89).

Величина наружного штамповочного уклона зависит от отношения глубины к ширине соответствующей полости. Кроме того, наружный штамповочный уклон зависит от формы полости в плане, от отношения ее длины к ширине: чем больше отношение, тем меньше штамповочный уклон.

Внутренний штамповочный уклон зависит от тех же факторов, что и наружный. Внутренний штамповочный уклон назначают на выступы в штампе (на выемки в поковке). Величину внутреннего штамповочного уклона определяют по отношению высоты выступа к его ширине и длины к ширине.

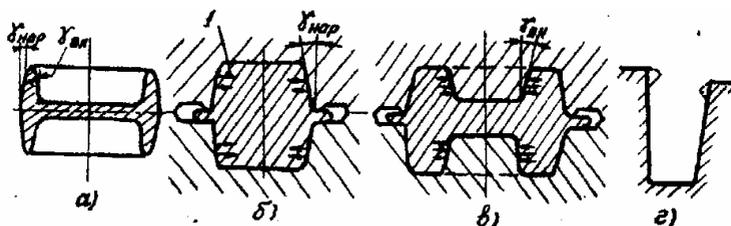


Рис. 3.2. Наружный  $\gamma_{нар}$  и внутренний  $\gamma_{вн}$  штамповочные уклоны (*а*), остывание поковки с наружными штамповочными уклонами (*б*), остывание поковки с внутренними штамповочными уклонами (*в*), осадка кромок полости ручья при малых штамповочных уклонах или радиусах (*г*); 1 – металл при остывании отходит от стенок ручья; 2 – металл при остывании прижимается к выступам ручья

Величина штамповочного уклона зависит от материала поковки, смазки штампов, наличия выталкивателя и других факторов. Материал поковки и смазка штампов определяют коэффициент трения и силы трения, препятствующие удалению поковки из полости штампа. Чем меньше коэффициент трения, тем меньше штамповочные уклоны. Чем больше штамповочные уклоны, тем больше напуск на поковку. Поэтому уклоны стараются принимать минимально воз-

можными. Кроме того, их стремятся унифицировать, выбирая для поковки не более двух-трех штамповочных уклонов.

При изготовлении штампов применяют стандартный набор фрез для выполнения штамповочных уклонов, поэтому штамповочные уклоны стандартизированы: 3, 5, 7, 10, 12 и 15°. Уклоны > 15° не применяют, так как в них нет необходимости. Штамповочные уклоны выбирают по таблицам соответствующих справочников. Штамповочные уклоны после назначения корректируют, для того чтобы линия разреза в верхнем и нижнем штампах была одинаковой. Это создает лучшие условия для обрезки заусенца.

### *Определение радиусов закруглений*

Все пересекающиеся поверхности поковки сопрягаются по радиусам. Радиусы закруглений подразделяют на наружные и внутренние (рис. 3.3). Наружные радиусы закругления  $r$  назначают по ГОСТ 7505–89 в зависимости от массы поковки. В принципе радиусы закруглений должны зависеть от тех же факторов, что и штамповочные уклоны. Радиусы выбирают по таблицам в зависимости от отношения глубины к ширине прилегающей полости и от глубины этой полости, например,  $r_1$  зависит от отношения  $h_1/B_1$  и  $h_1$  (рис. 3.3). Внутренние радиусы закруглений приблизительно в 3 раза больше соответствующих наружных радиусов ( $R \approx 3r$ ).

После того как радиусы закруглений выбраны, их надо согласовать с припусками. Припуски в наружных и внутренних углах поковки должны быть не меньше припусков на ее прилегающих участках. Допуски на радиусы закруглений согласовывают с заказчиком.

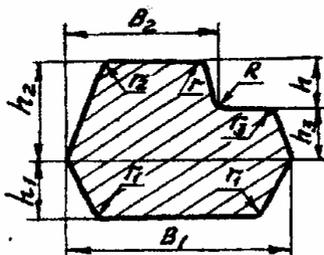


Рис. 3.3. Радиусы закруглений (наружные  $r$  и внутренние  $R$ ) на поковках с соответствующими высотой  $h$  и шириной  $B$

### *Наметки и пленки под прошивку*

При штамповке на молотах в молотовых штампах нельзя получить в поковке сквозное отверстие. Для облегчения последующей прошивки в поковке получают наметку с перемычкой-пленкой небольшой толщины. Если в дальнейшем отверстие сверлят, то наметку выполняют для экономии металла.

В зависимости от формы и размеров отверстий и поковок применяют пять типов наметок: с плоской пленкой, с раскосом, с магазином, с карманом и глухую.

Плоская наметка показана на рис. 3.4, *а*. При конструировании плоской наметки большое значение имеет правильный выбор толщины пленки  $S$ .

При штамповке в зоне пленки происходит осадка с боковым подпором. Удельные усилия на выступах, образующих пленку, зависят от отношения диаметра пленки к ее толщине. При малой толщине пленки удельное усилие велико и выступы, образующие наметку, могут быстро подвергаться подсадке и принять форму гриба. Возможность такой подсадки усугубляется тем, что при малой толщине пленка остывает, что еще больше увеличивает удельные усилия на выступы. Выступы, окруженные раскаленным металлом, быстро нагреваются, а твердость и прочность снижаются.

При подсадке выступов поковка застревает в штампе, который разогревается, и стойкость его резко снижается. При очень большой толщине пленки требуются значительные усилия для ее последующей прошивки, которые могут сильно деформировать поковку и затруднить прошивку. Поэтому необходимо, чтобы толщина стенки  $S$  для определенных условий была оптимальной. Практически установлено, что  $S/D = 0,1$  или  $S = 0,1D$ , но не менее 4 мм.

Толщина обычной (плоской) пленки  $S$  может быть определена по эмпирической формуле

$$S = 0,45 \cdot \sqrt{D - 0,25h - 5} + 0,6 \cdot \sqrt{h}, \text{ мм.}$$

Плоскую наметку выполняют при  $D < 80$  мм. При использовании предварительного ручья плоскую наметку применяют до  $D < 55$  мм. Для  $D > 80$  мм при отсутствии предварительного ручья и для наметок в предварительном ручье любых диаметров применяют наметку с раскосом, облегчающим течение металла (рис. 3.4, *б*).

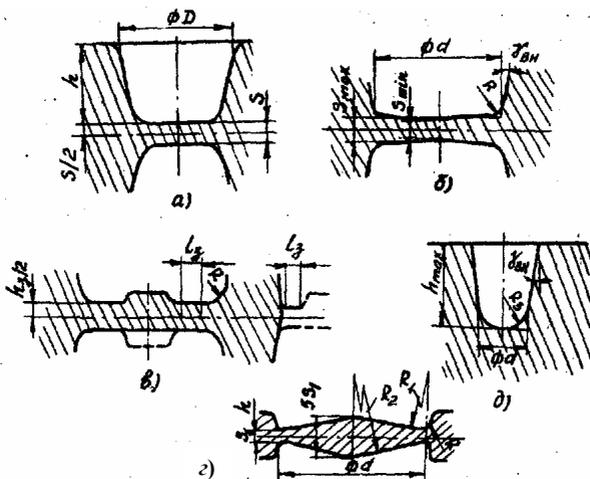


Рис. 3.4. Наметки молотовых поковок:

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

Предварительно рассчитывают  $S$  как для плоской наметки, а  $S_{\max} = 1,35S$  и  $S_{\min} = 0,65S$ .

Для поковок с высокими ребрами, толстыми фланцами и при наличии в штампах выталкивателей целесообразно задавать малые штамповочные уклоны:  $3...5^\circ$  на внешних и  $7^\circ$  на внутренних поверхностях поковки. В результате этого значительно снижается масса поковки. Для низких поковок с тонкими фланцами, невысокими ребрами и ступицами штамповочные уклоны составляют  $5...7^\circ$ , что практически не увеличивает массу поковок.

При штамповке на КГШП получают поковки более точных форм, чем при штамповке на молотах, и линия разреза для поковок удлиненной формы может быть принята более простой. Наличие выталкивателей позволяет штамповать в направлении, параллельном оси ползуна, в результате чего упрощается конструкция поковки, снижается ее масса за счет углублений, получаемых при штамповке, и уменьшается заусенец. При этом упрощается конструкция основного и обрезного штампов. Для поковок, штампуемых выдавливанием, линию разреза обычно устанавливают по верхней наружной кромке поковки.

Наметки отверстий и перемычек под прошивку устанавливают по той же методике, что и для молотовых поковок.

**Исходные данные для разработки чертежа поковки**

Исходные данные для разработки чертежа поковки представлены в виде чертежа детали с указанием вариантов материала, размеров и чистоты поверхностей, заданных в виде таблиц. Студент самостоятельно выбирает машину, на которой будет производиться штамповка, а также исходя из конфигурации детали, назначает открытую или закрытую штамповку.

**Условия задачи**

По чертежу детали разработать чертеж поковки и заусенечной канавки.

Шестерня (рис. 4.1, вариант 36) [4] (см. вариант П5 заданий данного пособия). Штамповочное оборудование – КГШП. Нагрев заготовок индукционный.

**1. Исходные данные по детали**

1.1. Материал – сталь 45ХН2МФА (по ГОСТ 4543–73): 0,42–0,5 %С; 0,17–0,37 % Si; 0,5–0,85 % Mn; 0,8–1,1 % Cr; 1,3–1,8 % Ni; 0,2–0,3 % Mo; 0,1–0,18 % V.

1.2. Масса детали – 1,83 кг (расчет ведется по чертежу детали).

**2. Исходные данные для расчета**

2.1. Масса поковки – 3,3 кг (расчетная): расчетный коэффициент  $K_p = 1,8$  (см. прил. 3 ГОСТ 7505–89);  $1,83 \cdot 1,8 = 3,3$  кг.

2.2. Класс точности – Т.3 (см. прил. 1 ГОСТ 7505–89).

2.3. Группа стали – М (см. табл. 1 ГОСТ 7505–89). Средняя массовая доля углерода в стали 45ХН2МФА 0,46 %С; суммарная доля легирующих элементов – 3,81 % (0,27 % Si; 0,65 % Mn; 0,95 % Cr; 1,55 % Ni; 0,25 % Mo; 0,14 % V).

2.4. Степень сложности – С1 (см. прил. 2 ГОСТ 7505–89). Размеры описывающей поковку фигуры (цилиндр), мм; диаметр 134,4 (128–1,05); высота 41(39–1,05) (где 1,05 – коэффициент). Масса описывающей фигуры (расчетная) – 4,55 кг;  $= 33: 4,55=0,72$ .

2.5. Конфигурация поверхности разъема штампа П (плоская) – (см. табл. 1 ГОСТ 7005–89).

2.6. Исходный индекс (см. табл. 2 ГОСТ 7505–89).

### 3. Припуски и кузнечные напуски

3.1. Основные припуски на размеры (см. табл. 3 ГОСТ 7505–89), мм:

диаметр 128 мм и чистота поверхности 6,3;

диаметр 36 мм и чистота поверхности 6,3;

толщина 39 мм и чистота поверхности 1,6;

толщина 28 мм и чистота поверхности 6,3.

3.2. Дополнительные припуски, учитывающие:

– смещение по поверхности разъема штампа – 0,3 мм (см. табл. 4 ГОСТ 7505–89);

– отклонение от плоскости – 0,3 мм (см. табл. 5 ГОСТ 7505–89).

3.3. Штамповочный уклон:

– на наружной поверхности – не более 5°, принимается 5°;

– на внутренней поверхности – 7°, принимается 7°.

### 4. Размеры поковки и их допускаемые отклонения (рис. 4.1)

4.1. Размеры поковки в мм:

диаметр  $128 + (1,6 + 0,3) \cdot 2 = 131,8$ , принимается 132;

диаметр  $36 + (1,5 + 0,3) \cdot 2 = 42,6$ , принимается 42;

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

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

4.2. Радиус закругления наружных углов – 2,0 мм (минимальный), принимается 3 мм (см. табл. 7 ГОСТ 7505–89).

4.3. Допускаемые отклонения размеров (см. табл. 8 ГОСТ 7505–89), мм:

диаметр  $132^{+1,3}_{-0,7}$ ;

диаметр  $42^{+1,1}_{-0,5}$ ;

толщина  $42,5^{+1,1}_{-0,5}$ ;

толщина  $31,5^{+0,9}_{-0,5}$ .

4.4. Неуказанные предельные отклонения размеров (например, диаметр  $(86,5 \pm 1,1)$  мм) по п. 5.5 ГОСТ 7505–89).

4.5. Неуказанные допуски радиусов закругления – по п. 5.23 ГОСТ 7505–89.

4.6. Допустимая величина остаточного облоя 0,7 мм.

4.7. Допускаемое отклонение от плоскостности 0,6 мм.



**Припуски на механическую обработку и допуски на размеры отливок  
по ГОСТ 26645–85**

Таблица П5.1

Классы точности размеров и масс и ряды припусков  
на механическую обработку отливок для различных способов литья

Литье	Наиболь- шие га- баритные размеры отливки, мм	Металлы и сплавы		
		Цветные с темпе- ратурой плавления ниже 700 °С	Цветные с темпе- ратурой плавления выше 700 °С, серый чугун	Ковкий, высоко- прочный и легиро- ванный чугун и сталь
Под давлением в металлические формы	До 100	$\frac{3T-5}{1}$	$\frac{3-6}{1}$	$\frac{4-7T}{1}$
	Св. 100	$\frac{3-6}{1}$	$\frac{4-7T}{1}$	$\frac{5T-7}{1}$
В керамические формы и по выплавляемым и выжигаемым моделям	До 100	$\frac{3-6}{1}$	$\frac{4-7T}{1-2}$	$\frac{5T-7}{1-2}$
	Св. 100	$\frac{4-7}{1-2}$	$\frac{5T-7}{1-2}$	$\frac{5-8}{1-2}$
В кокиль и под низким давлени- ем в металлические формы с песчаными стержнями и без них, литье в песчаные формы, отверждаемые в контакте с ос- насткой	До 100	$\frac{4-9}{1-2}$	$\frac{5T-10}{1-3}$	$\frac{5-11}{1-3}$
	Св. 100 до 630	$\frac{5T-10}{1-3}$	$\frac{5-11T}{1-3}$	$\frac{6-11}{2-4}$
	Св. 630	$\frac{5-11T}{1-3}$	$\frac{6-11}{2-4}$	$\frac{7T-12}{2-5}$
В песчаные формы, отверждае- мые вне контакта с оснасткой, центробежное, в сварные и сухие песчано-глинистые формы	До 630	$\frac{6-11}{2-4}$	$\frac{7T-12}{2-4}$	$\frac{7-13T}{2-5}$
	Св. 630 до 4000	$\frac{7-12}{2-4}$	$\frac{8-13T}{3-5}$	$\frac{9T-13}{3-6}$
	Св. 4000	$\frac{8-13T}{3-5}$	$\frac{9T-13}{3-6}$	$\frac{9-14}{4-6}$

*Примечания.*

1. В числителе указаны классы точности размеров и масс, в знаменателе – ряды припусков. Меньшие их значения относятся к простым отливкам и условиям массового автоматизированного производства; большие значения – к сложным, мелко-серийно и индивидуально изготовленным отливкам; средние значения – к отливкам средней сложности и условиям механизированного серийного производства.

2. Классы точности масс следует принимать соответствующими классам точности отливок.

Таблица П5.2

Допуски линейных размеров отливок (мм, не более)  
по ГОСТ 26645–85

Интервалы номинальных размеров, мм	Класс точности размеров отливок											
	1	2	3т	3	4	5т	5	6	7т	7	8	9т
До 4	0,06	0,08	0,1	0,12	0,16	0,2	0,24	0,32	0,4	0,5	0,64	0,8
Св. 4–6	0,07	0,09	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,7	0,9
» 6 » 10	0,08	0,1	0,12	0,16	0,2	0,24	0,3	0,4	0,5	0,64	0,8	1,0
» 10 » 16	0,09	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,7	0,9	1,1
» 16 » 25	0,1	0,12	0,16	0,2	0,24	0,32	0,4	0,5	0,64	0,8	1,0	1,2
» 25 » 40	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,7	0,9	1,1	1,4
» 40 » 63	0,12	0,16	0,2	0,24	0,32	0,4	0,5	0,64	0,8	1,0	1,2	1,6
» 63 » 100	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,7	0,9	1,1	1,4	1,8
» 100 » 160	0,16	0,2	0,24	0,32	0,4	0,5	0,64	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0
» 160 » 250	–	–	0,28	0,36	0,44	0,56	0,7	0,9	1,1	1,4	1,8	2,2
» 250 » 400	–	–	0,32	0,4	0,5	0,64	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4
» 400 » 630	–	–	–	–	0,56	0,7	0,9	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8
» 630 » 1000	–	–	–	–	–	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2
» 1000 » 1600	–	–	–	–	–	–	–	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6
» 1600 » 2500	–	–	–	–	–	–	–	–	2,0	2,4	3,2	4,0
» 2500 » 4000	–	–	–	–	–	–	–	–	–	3,2	3,6	4,4
» 4000 » 6300	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	5,0
» 6300 » 10000	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Интервалы номинальных размеров, мм	Класс точности размеров отливок									
	9	10	11т	11	12	13т	13	14	15	16
До 4	1,0	1,2	1,6	2,0	–	–	–	–	–	–
Св. 4–6	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	–	–	–	–	–
» 6 » 10	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	–	–	–
» 10 » 16	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	–	–
» 16 » 25	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10	12
» 25 » 40	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9	11	14
» 40 » 63	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10	12	16
» 63 » 100	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11	14	18
» 100 » 160	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12	16	20
» 160 » 250	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14	18	22
» 250 » 400	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16	20	24
» 400 » 630	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14,0	18	22	28
» 630 » 1000	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20	24	32
» 1000 » 1600	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14,0	18,0	22	28	36
» 1600 » 2500	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20	24	32	40
» 2500 » 4000	5,6	7,0	9,0	11,0	14,0	18,0	22	28	36	44
» 4000 » 6300	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20	24	32	40	50
» 6300 » 10000	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24	32	40	50	64

*Примечания.*

1. Классы точности размеров отливок – см. табл. П5.1.
2. Допуски размеров, указанные в табл. П5.1, не учитывают смещение и коробление отливок.
3. Допуски угловых размеров в пересчете на линейные не должны превышать значений, установленных в табл. П5.1.
4. Допуски размеров элементов отливки, образованных двумя полуформами, перпендикулярными к плоскости разъема, следует устанавливать соответствующими классу точности размеров отливки. Допуски размеров элементов отливки, образованных одной частью формы или одним стержнем, устанавливают на 1–2 класса точнее. Допуски размеров элементов, образованных тремя частями формы и более, несколькими стержнями или подвижными элементами формы, а также толщины стенок, ребер и фланцев устанавливают на 1–2 класса грубее.
5. Допуски размеров от предварительно обработанной поверхности, используемой в качестве базы, до литой поверхности следует устанавливать на 2 класса точнее.
6. Допускается устанавливать симметричные и несимметричные предельные отклонения, при этом предпочтительно следующее расположение полей

допусков: несимметричные односторонние «в тело» – для размеров элементов отливки (кроме толщин стенок), расположенных в одной части формы и не подвергаемых механической обработке, при этом для охватывающих элементов (отверстие) поле допуска располагают «в плюс», а для охватываемых элементов (вал) – «в минус»; симметричные – для размеров всех остальных элементов отливок, как не подвергаемых, так и подвергаемых механической обработке.

Таблица П5.3

Основные припуски на механическую обработку отливок  
(по ГОСТ 26645–85)

Допуск размеров отливок, мм	Основной припуск на сторону для рядов, мм					
	1	2	3	4	5	6
До 0,12	0,2; 0,4	–	–	–	–	–
Св. 0,12 до 0,16	0,3; 0,5	0,6; 0,8	–	–	–	–
» 0,16 » 0,20	0,4; 0,6	0,7; 1,0	1,0; 1,4	–	–	–
» 0,20 » 0,24	0,5; 0,7	0,8; 1,1	1,1; 1,5	–	–	–
» 0,24 » 0,30	0,6; 0,8	0,9; 1,2	1,2; 1,6	1,8; 2,2	2,6; 3,0	–
» 0,30 » 0,40	0,7; 0,9	1,0; 1,3	1,4; 1,8	1,9; 2,4	2,8; 3,2	–
» 0,40 » 0,50	0,8; 1,0	1,1; 1,4	1,5; 2,0	2,0; 2,6	3,0; 3,4	–
» 0,50 » 0,60	0,9; 1,2	1,2; 1,6	1,6; 2,2	2,2; 2,8	3,2; 3,6	–
» 0,60 » 0,80	1,0; 1,4	1,3; 1,8	1,8; 2,4	2,4; 3,0	3,4; 3,8	4,4; 5,0
» 0,80 » 1,0	1,1; 1,6	1,4; 2,0	2,0; 2,8	2,6; 3,2	3,6; 4,0	4,6; 5,5
» 1,0 » 1,2	1,2; 2,0	1,6; 2,4	2,2; 3,0	2,8; 3,4	3,8; 4,2	4,8; 6,0
» 1,2 » 1,6 »	1,6; 2,4	2,0; 2,8	2,4; 3,2	3,0; 3,8	4,0; 4,6	5,0; 6,5
» 1,6 » 2,0	2,0; 2,8	2,4; 3,2	2,8; 3,6	3,4; 4,2	4,2; 5,0	5,5; 7,0
» 2,0 » 2,4	2,4; 3,2	2,8; 3,6	3,2; 4,0	3,8; 4,6	4,6; 5,5	6,0; 7,5
» 2,4 » 3,0	2,8; 3,6	3,2; 4,0	3,6; 4,5	4,2; 5,0	5,0; 6,3	6,5; 8,0
» 3,0 » 4,0	3,4; 4,5	3,8; 5,0	4,2; 5,5	5,0; 6,5	5,5; 7,0	7,0; 9,0
» 4,0 » 5,0	4,0; 5,5	4,4; 6,0	5,0; 6,5	5,5; 7,5	6,0; 8,0	8,0; 10,0
» 5,0 » 6,0	5,0; 7,0	5,5; 7,5	6,0; 8,0	6,5; 8,5	7,0; 9,5	9,0; 11,0
» 6,0 » 8,0	–	6,5; 9,5	7,0; 10,0	7,5; 11,0	8,5; 12,0	10,0; 13,0
» 8,0 » 10,0	–	–	9,0; 12,0	10,0; 13,0	11,0; 14,0	12,0; 15,0
» 10,0 » 12,0	–	–	10,0; 13,0	11,0; 14,0	12,0; 15,0	13,0; 16,0
» 12,0 » 16,0	–	–	13,0; 15,0	14,0; 16,0	15,0; 17,0	16,0; 19,0
» 16,0 » 20,0	–	–	–	17,0; 20,0	18,0; 21,0	19,0; 22,0
» 20,0 » 24,0	–	–	–	20,0; 23,0	21,0; 24,0	22,0; 25,0
» 24,0 » 30,0	–	–	–	–	26,0; 29,0	27,0; 30,0
» 30,0 » 40,0	–	–	–	–	–	34,0; 37,0

Допуск размеров отливок, мм	Основной припуск на сторону для рядов, мм					
	1	2	3	4	5	6
» 40,0 » 50,0	—	—	—	—	—	42,0
» 50,0 » 60,0	—	—	—	—	—	50,0

*Примечания.*

1. Для каждого интервала значений допусков размеров отливки в каждом ряду припусков предусмотрены два значения основного припуска.

2. Меньшие значения припуска устанавливают при более грубых качествах точности обработки деталей, большие значения припуска устанавливают при более точных качествах согласно следующим данным.

Класс точности размеров отливок	1–3т	3–5т	5–7т	7–9т	9–16т
Квалитет точности размеров деталей, получаемых механической обработкой отливок	IT9 и грубее IT8 и точнее	IT10 и грубее IT8-IT9	IT11 и грубее IT9-IT10	IT 12 и грубее IT9-IT11	IT13 и грубее IT1-IT12

3. При более высоких требованиях к точности размеров обрабатываемых деталей допускается увеличение основного припуска до ближайшего большего значения из того же ряда.

Таблица П5.4

**Формовочные уклоны модельного комплекта**

Высота основной формообразующей поверхности, мм	Формовочный уклон								
	При применении песчано-глинистых смесей и комплекта				При применении смесей, твердеющих в контакте с оснасткой, и комплекта			Для литья по выплавляемым моделям	
	металлического, пластмассового		деревянного		Металлического для оболочковой формы	Металлического пластмассового	Деревянного	Для наружных (охватываемых) поверхностей	Для внутренних (охватываемых) поверхностей
	$d < h$	$d > h$	$d < h$	$d > h$					
До 10	2°17'	4°34'	2°54'	5°45'	1°43'	3°26'	4°00'	0°30'	1°30'
10...18	1°36'	3°11'	1°54'	3°49'	1°16'	2°32'	2°52'	0°20'	1°00'
19..30	1°09'	2°40'	1°31'	3°03'	0°57'	1°54'	2°17'	0°15'	0°45'
31...50	0°48'	1°42'	1°02'	2°05'	0°41'	1°16'	1°29'	0°15'	0°45'
51...80	0°34'	1°13'	0°43'	1°26'	0°30'	0°54'	1°04'	0°10'	0°30'

Высота основной формообразующей поверхности, мм	Формовочный уклон								
	При применении песчано-глинистых смесей и комплекта				При применении смесей, твердеющих в контакте с оснасткой, и комплекта			Для литья по выплавляемым моделям	
	металлического, пластмассового		деревянного		Металлического для оболочковой формы	Металлического пластмассового	Деревянного	Для наружных (охватываемых) поверхностей	Для внутренних (охватываемых) поверхностей
	$d < h$	$d > h$	$d < h$	$d > h$					
81...120	0°26'	0°34'	0°32'	1°03'	0°23'	0°40'	0°46'	0°10'	0°30'
121...180	0°19'	0°38'	0°23'	1°46'	0°17'	0°29'	0°34'	—	—
181...250	0°19'	0°37'	0°22'	0°44'	0°14'	0°28'	0°33'	—	—
251...315	0°19'	0°37'	0°22'	0°44'	0°14'	0°27'	0°33'	—	—
316...400	0°28'	0°36'	0°21'	0°43'	—	0°26'	0°32'	—	—
401...500	0°17'	0°35'	0°21'	0°44'	—	0°26'	0°31'	—	—
501...630	0°17'	0°33'	0°19'	0°38'	—	0°24'	0°29'	—	—
630...800	0°16'	0°32'	0°19'	0°38'	—	0°24'	0°29'	—	—
801...1000	—	—	0°19'	0°38'	—	—	0°29'	—	—
1001...1250	—	—	0°19'	—	—	—	0°29'	—	—
1251...1600	—	—	019'	—	—	—	0°29'	—	—
1601...2000	—	—	019'	—	—	—	0°28'	—	—
2001...2500	—	—	019'	—	—	—	0°28'	—	—
Более 2500	—	—	019'	—	—	—	028'	—	—

*Примечания.*

1. Уклоны устанавливаются по ГОСТ 3212–80.
2. Формовочные уклоны в стержневых ящиках выполняют равными формовочным уклонам соответствующих поверхностей моделей.
3. Предельные отклонения формовочных уклонов назначают по ГОСТ 11961–87.
4. Формовочные уклоны на чертежах изображаются в соответствии с ГОСТ 3212–80.
5. Литейные радиусы рекомендуется определять по формулам:

$$R = (0,3 \dots 0,5)(s_1 + s_2)/2, r = (0,1 \dots 0,3)(s_1 + s_2)/2,$$

где  $R$  – радиус закругления внутренних углов;  $r$  – радиус закругления наружных углов;  $s_1, s_2$  – толщина сопрягаемых стенок.

**Припуски на механическую обработку и допуски на размеры поковки стальных штампованных по ГОСТ 7505-89**

Таблица Пб.1

Определение исходного индекса

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

Примечания.

Массу поковки  $M_p$  (кг) ориентировочно определяют по формуле

$$M_p = M_o K_p,$$

где  $M_d$  – масса детали по чертежу;  $K_p$  – коэффициент, учитывающий отход металла в стружку при механической обработке поковки (для деталей типа «круг-

дый диск»  $K_p = 1,5-1,8$ , типа вал –  $K_p = 1,3-1,6$ , деталей с большим количеством необрабатываемых поверхностей  $K_p = 1,1-1,3$ , полых валов, блоков шестерен  $K_p = 1,8-2,2$ ).

Группа стали зависит от ее химического состава: сталь с массовой долей углерода до 0,35 % или суммарной массовой долей легирующих элементов до 2 % относится к группе М1, с массовой долей углерода свыше 0,35 % и до 0,65 % или массовой долей легирующих элементов свыше 2 % до 5 % – к группе М2, а с массовой долей углерода свыше 0,65 % или массовой долей легирующих элементов свыше 5 % – к группе М3.

Расчетное значение степени сложности С определяется по формуле

$$C = M_p / M_\phi,$$

где  $M_\phi$  – масса простой фигуры, в которую может быть вписана наша заготовка и которая может быть шаром, прямой правильной призмой, цилиндром или параллелепипедом (при расчете массы простой фигуры габаритные размеры детали увеличиваются на 5 %).

В зависимости от расчетного значения принимаются следующие значения степени сложности:

$C > 0,63$	C1,
$0,63 \geq C2 > 0,32$	C2,
$0,32 \geq C3 > 0,16$	C3,
$0,16 > C4$	C4.

Класс точности поковки Т задается техническими условиями (ТУ) или определяется согласно следующим данным.

Таблица П6.2

### Определение класса точности

Основное технологическое оборудование, технологический процесс	Класс точности				
	T1	T2	T3	T4	T5
Кривошипные горячештамповочные прессы					
– открытая штамповка				+	+
– закрытая штамповка		+	+		
– выдавливание			+	+	
Горизонтально-ковочные машины				+	+
Прессы винтовые, гидравлические				+	+
Горячештамповочные автоматы		+	+		
Штамповочные молоты				+	+
Калибровка объемная	+	+			
Прецизионная штамповка	+				

Таблица Пб.3

## Допустимые значения величины смещения частей штампа

Масса поковки, кг	Допускаемая величина смещения по поверхности разъема штампа, мм							
	Плоская поверхность разъема штампа							
	Т1	T2	T3	T4	T5			
		Симметрично изогнутая поверхность разъема штампа						
		Т1	T2	T3	T4	T5		
Несимметрично изогнутая поверх- ность разъема штампа								
	T1	T2	T3	T4	T5			
До 0,5 включ.	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	
Св. 0,5 до 1,0	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	
Св. 1 до 1,8	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	
Св. 1,8 до 3,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	
Св. 3,2 до 5,6	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	
Св. 5,6 до 10,0	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	
Св. 10,0 до 20,0	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,8	
Св. 20,0 до 50,0	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,8	2,5	
Св. 50,0 до 125,0	0,8	1,0	1,2	1,4	1,8	2,5	3,2	
Св. 125,0 до 250,0	1,0	1,2	1,4	1,8	2,5	3,2	4,0	

Таблица Пб.4

## Основные припуски на механическую обработку (на сторону)

Исходный индекс		Толщина детали																	
		25–40		45–63		100–160		160–250		160–250		160–250							
		Длина, ширина, диаметр, глубина и высота детали																	
по 40		40–100		100–160		160–250		250–400		400–630		400–630							
100	1,25	100	1,25	100	1,25	100	1,25	100	1,25	100	1,25	100	1,25						
12,5	✓	12,5	✓	12,5	✓	12,5	✓	12,5	✓	12,5	✓	12,5	✓						
✓		✓		✓		✓		✓		✓		✓							
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	–	–	–	–
2	0,4	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,6	0,8	0,9	0,6	0,8	0,9	0,7	0,9	1,0	0,8	1,0	1,1	–
3	0,4	0,6	0,7	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	1,0
4	0,6	0,7	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	1,0	1,3	1,4	1,1
5	0,6	0,8	0,9	0,7	0,9	1,0	0,8	1,0	1,1	0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	1,2
6	0,7	0,9	1,0	0,8	1,0	1,1	0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3
7	0,8	1,0	1,1	0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	1,4
8	0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5
9	1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7
10	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,4	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9
11	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	1,5	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,0	1,9	2,3	2,5	2,0
12	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,7	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,3
13	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,9	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	2,4
14	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	2,0	2,3	2,5	2,2	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3	2,6
15	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,2	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5	2,8
16	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,4	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	3,0
17	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	2,6	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1	3,4
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	4,3	4,7	3,7
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	3,7	4,7	5,1	4,1
20	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1	4,1	5,1	5,6	4,5

Таблица Пб.5

## Допуски и допускаемые отклонения линейных размеров поковок, мм

Исходный индекс	Толщина, мм													
	до 40		40-63		63-100		100-160		160-250		160-250		св. 250	
	Длина, ширина, диаметр, глубина и высота поковки, мм													
	до 40		40-100		100-160		160-250		250-400		400-630		630-1000	
1	+0,2 -0,1	0,4	+0,3 -0,1	0,5	+0,3 -0,2	0,6	+0,4-0,2	0,7	+0,5 -0,2	-	-	-	-	
2	+0,3 -0,1	0,5	+0,3 -0,2	0,5	+0,4 -0,2	0,7	+0,5 -0,2	0,6	+0,5 -0,3	0,9	+0,6 -0,3	-	-	
3	+0,3 -0,2	0,6	+0,4 -0,2	0,7	+0,5 -0,2	0,8	+0,5 -0,3	0,9	+0,6 -0,3	1,0	+0,7 -0,3	1,2	+0,6 -0,3	
4	+0,4 -0,2	0,7	+0,5 -0,2	0,8	+0,5 -0,3	0,9	+0,6 -0,3	1,0	+0,7 -0,3	1,2	+0,8 -0,4	1,4	+0,9 -0,5	
5	+0,5 -0,2	0,8	+0,5 -0,3	0,9	+0,6 -0,3	1,0	+0,7 -0,3	1,2	+0,8 -0,4	1,4	+0,8 -0,4	1,6	+1,1 -0,5	
6	+0,5 -0,3	0,9	+0,6 -0,3	1,0	+0,7 -0,3	1,2	+0,8 -0,4	1,4	+0,9 -0,5	1,6	+0,9 -0,5	2,0	+1,3 -0,7	
7	+0,6 -0,3	1,0	+0,7 -0,3	1,2	+0,8 -0,4	1,4	+0,9 -0,5	1,6	+1,1 -0,5	2,0	+1,1 -0,5	2,2	+1,4 -0,8	
8	+0,7 -0,3	1,2	+0,8 -0,4	1,4	+0,9 -0,5	1,6	+1,1 -0,5	2,0	+1,3 -0,7	2,2	+1,3 -0,7	2,5	+1,6 -0,9	
9	+0,8 -0,4	1,4	+0,6 -0,5	1,6	+1,1 -0,5	2,0	+1,3 -0,7	2,2	+1,4 -0,8	2,5	+1,4 -0,5	2,6	+1,8 -1,0	
10	+0,9 -0,5	1,6	+1,1 -0,5	2,0	+1,3 -0,7	2,2	+1,4 -0,8	2,5	+1,6 -0,9	2,8	+1,6 -0,9	3,2	+2,1 -1,1	
11	+1,1 -0,5	2,0	+1,3 -0,7	2,2	+1,4 -0,8	2,5	+1,6 -0,9	2,8	+1,8 -1,0	3,2	+2,1 -1,1	3,6	+2,4 -1,2	

Исходный индекс	Толщина, мм													
	до 40		40–63		63–100		100–160		160–250		св. 250			
	Длина, ширина, диаметр, глубина и высота поковки, мм													
	до 40		40–100		100–160		160–250		250–400		400–630		630–1000	
12	2,0	+1,3 -0,7	2,2	+1,4 -0,8	2,5	+1,6 -0,9	2,8	+1,8 -1,0	3,2	+2,1 -1,1	3,6	+2,4 -1,2	4,0	+2,7 -1,3
13	2,2	+1,4 -0,8	2,5	+1,6 -0,9	2,8	+1,8 -1,0	3,2	+2,1 -1,1	3,6	+2,4 -1,2	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,5
14	2,5	+1,6 -0,9	2,8	+1,8 -1,1	3,2	+2,1 -1,1	3,6	+2,4 -1,2	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7
15	2,8	+1,8 -1,0	3,2	+2,1 -1,1	3,6	+2,4 -1,2	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,9
16	3,2	+2,1 -1,1	3,6	+2,1 -1,1	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 -2,1
17	3,6	+2,4 -1,2	4,0	+2,4 -1,2	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 -2,1	7,1	+4,7 -2,4
18	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+2,7 -1,3	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 -2,1	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7
19	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,0 -1,5	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 -2,1	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7	9,0	+6,0 -3,0
20	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 -2,1	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7	9,0	+6,0 -3,0	10,0	+6,7 -3,3

Таблица П6.6

## Допустимые значения величины остаточного облоя

Масса поковки, кг	Допускаемая величина остаточного облоя, мм							
	Плоская поверхность разъема штампа							
	Т1	Т2	Т3	Т4	Т5			
			Симметрично изогнутая поверх- ность разъема штампа					
	Т1	Несимметрично изогнутая поверхность разъема штампа						
		Т1	Т2	Т3	Т4	Т5		
До 0,5 включ.	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Св. 0,5 до 1,0	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Св. 1 до 1,8	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2
Св. 1,8 до 3,2	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4
Св. 3,2 до 5,6	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6
Св. 5,6 до 10,0	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
Св. 10,0 до 20,0	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,2
Св. 20,0 до 50,0	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,2	2,8
Св. 50,0 до 125,0	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,2	2,8	3,5
Св. 125,0 до 250,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,2	2,8	3,5	4,0

Таблица П6.7

## Штамповочные радиусы

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

*Примечание.* Радиусы закруглений внутренних поверхностей поковки назначаются в 3–4 раза больше определяемых по таблице.

Таблица П6.8

## Штамповочные уклоны

Оборудование	Штамповочные уклоны, град.	
	наружные	внутренние
Штамповочные молоты, прессы без выталкивателей	7	10
Прессы с выталкивателями, ГКМ	5	7
Горячештамповочные автоматы	1	2

**Металлы, виды поставок, параметры сортаментов**

Таблица П7.1

## Стали

Сталь	Круг			Квадрат			Шес- ти- гран- ник	По- ло- са	Лист					
	ГОСТ													
	1133–71	2590–88	7417–75	14955–77	1133–71	2591–88	8559–75	2879–69	8560–78	103–76	4405–75	1577–81	19903–74	19904–74
Углеродистые стали обыкновенного качества ГОСТ 380–94														
Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6		+				+						+	+	+
Конструкционные стали повышенной и высокой обрабатываемости резанием ГОСТ 1414–75														
A12, A20, A35 и др.	+	+	+	+	+	+		+		+		+	+	+
Подшипниковые ГОСТ 801–78														
ШХ15, ШХ15СГ	+	+	+		+	+		+		+		+		
Углеродистые качественные конструкционные стали ГОСТ 1050–88														
10, 15, 20, 25, 30 и др.	+	+	+	+	+	+		+		+		+	+	+
Легированные конструкционные стали ГОСТ 4543–71														
20Х, 30Х, 40Х, 38 ХГТ, 40ХН2МА и др.	+	+	+		+	+		+		+		+		
Рессорно-пружинные углеродистые и легированные ГОСТ 14959–79														
60Г, 65Г, 60С2 65, 70 и др.	+	+	+	+	+	+	+		+	+		+		
Инструментальные углеродистые ГОСТ 1435–90														
У7, У7А, У8, У8А и др.	+	+	+	+	+	+	+			+	+			
Инструментальные легированные ГОСТ 5950–2000														
9ХС, 23ХС, ХВГ и др.		+				+				+	+			

*Примечания.* Буквенные обозначения легирующих элементов в сталях и сплавах: Г – марганец; С – кремний; Х – хром; Н – никель; М – молибден; Ф – ванадий; Т – титан; В – вольфрам; Ю – алюминий.

Таблица П7.2

Предельные параметры сортов стальных  
и примеры обозначения

Сорт стальной	Параметры, мм		Пример обозначения
	наим.	наиб.	
Кованая круглая (ГОСТ 1133–71)	40	200	Стали 20Х: Круг $\frac{40 \text{ ГОСТ } 1133 - 71}{20 \text{ X ГОСТ } 4543 - 71}$
Кованая квадратная (ГОСТ 1133–71)	40	200	Стали 20Х: Квадрат $\frac{40 \text{ ГОСТ } 1133 - 71}{20 \text{ X ГОСТ } 4543 - 71}$
Горячеката- ная круглая (ГОСТ 2590–88)	5	200	Стали марки 35: Круг $\frac{В5 \text{ ГОСТ } 1133 - 71}{35 \text{ ГОСТ } 4543 - 88}$
Калиброван- ная круглая (ГОСТ 7417–75)	3	100	Стали А12: Круг $\frac{3 - 5 \text{ ГОСТ } 417 - 71}{А12 - 6 - Т \text{ ГОСТ } 4543 - 71}$
Круглая со специ- альной отделкой (ГОСТ 14955–77)	0,2	30	Стали У10А: Серебрянка 0,2-В-3-У10А ГОСТ 14955–71
Горячекатаная квадратная (ГОСТ 2591–88)	5	100	Стали 20Х: Квадрат $\frac{В5 \text{ ГОСТ } 2591 - 88}{20 \text{ X ГОСТ } 4543 - 71}$
Калиброванная квадратная (ГОСТ 8559–75)	3	100	Стали У7: Квадрат $\frac{3 - 4 \text{ ГОСТ } 8559 - 75}{У7 \text{ ГОСТ } 1435 - 90}$
Горячекатаная шестигранная (ГОСТ 2879–69)	5	100	Стали 35: Шестигранник $\frac{5 \text{ ГОСТ } 2870 - 69}{35 \text{ ГОСТ } 1050 - 88}$
Калиброванная шестигранная (ГОСТ 8580–78)	3	100	Стали А12: Шестигранник $\frac{3 - 5 \text{ ГОСТ } 2870 - 69}{А12 - 6 - Т \text{ ГОСТ } 1414 - 75}$
Полоса горячекатаная (ГОСТ 103–76)	4×12	60×200	Стали ШХ15: Полоса $\frac{Б - 2 \text{ } 6 \times 12 \text{ Г2ГОСТ } 3 - 76}{ШХ15 \text{ ГОСТ } 801 - 78}$

Сортамент стали	Параметры, мм		Пример обозначения
	наим.	наиб.	
Полоса горячекатаная инструментальная (ГОСТ 4405–75)	3×12	40×300	Стали ХВГ: Полоса $\frac{3 \times 12 \text{ ГОСТ } 4405 - 75}{\text{ХВГ ГОСТ } 5950 - 73}$
Полоса кованая инструментальная (ГОСТ 4405–75)	20×40	80×300	Стали ХВГ: Полоса $\frac{20 \times 40 \text{ ГОСТ } 4405 - 75}{\text{ХВГ ГОСТ } 5950 - 73}$
Горячекатаная толстолистовая качественная углеродистая и легированная конструкционная (ГОСТ 1577–81)	20×40	80×300	Стали 10: Лист $\frac{Б4 \times 20 \times 40 \text{ ГОСТ } 1577 - 81}{10 - 6 - Т \text{ ГОСТ } 1050 - 88}$
Листовая горячекатаная (ГОСТ 19903–74)	0,5×500× ×1420	160×3000× ×8000	Сталь Ст3: Лист $\frac{Б0,5 \times 500 \times 1000 \text{ ГОСТ } 19903 - 74}{3 - 111 - Ст3 \text{ ГОСТ } 16523 - 70}$
Листовая холоднокатаная (ГОСТ 19904–90)	0,5×500× ×1000	5×3000× ×2300	Сталь Ст3: Лист х/к $\frac{Б0,5 \times 500 \times 1000 \text{ ГОСТ } 19904 - 90}{3 - 111 - Ст3 \text{ ГОСТ } 16523 - 70}$

*Примечания.*

1. В табл. П7.2 приведены параметры: для круглых сталей – диаметр; для квадратных – сторона квадрата; для шестигранных – диаметр вписанной окружности; для полосовых – толщина×ширина; для листовых – толщина×ширина×длина.

2. В примерах обозначений указаны наименьшие параметры сечений. Буквенные и цифровые обозначения сортовментов отражают классы точности и группы отделки поверхностей:

- по ГОСТ 2590–88 и ГОСТ 2591–88 стали изготовляют трех классов – высокой точности А, повышенной точности Б, обычной точности В (все классы указывают в обозначении);
- по ГОСТ 2879–69 и ГОСТ 103–76 стали изготовляют двух классов точности – повышенной А и нормальной Б (в обозначении указывают только класс А);
- по ГОСТ 8559–75 и ГОСТ 8560–78 стали изготовляют с предельными отклонениями размеров по  $h_{10}$ ;  $h_{11}$ ;  $h_{12}$ ;
- по ГОСТ 7417–75 – предельные отклонения размеров по  $h_8$ – $h_9$ ;  $h_{10}$ – $h_{12}$ ;
- по ГОСТ 14955–77 – предельные отклонения размеров по  $h_6$ ;  $h_7$ ;  $h_8$ – $h_9$ ;  $h_{10}$ ;  $h_{11}$ ; группы отделки поверхности А, Б, В, Г, Д: А – полированная с шероховатостью поверхности  $Ra \leq 0,32$  мкм; Б – шлифованная с  $Ra \leq 0,63$  мкм; В – шлифованная с  $Ra \leq 1,25$  мкм; Г – шлифованная с  $Ra \leq 2,5$  мкм; Д – шлифованная или обработанная с неконтролируемой шероховатостью поверхности;

- по ГОСТ 1577-81, ГОСТ 19903-74, ГОСТ 19904-90 группы точности прокатки: повышенной точности – А, нормальной точности – Б; по плоскостности: особо высокой – ПО, высокой – ПВ, улучшенной – ПУ, нормальной – ПН.

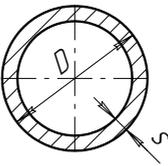
3. Параметры сечений сортаментов брать из указанного ряда:

- по ГОСТ 1133-71: 40, 42, 45, 48, 50, 52, 55, 58, 60, 03, 65, 68, 70, 73, 75, 78, 80, 83, 85 мм, далее кратно 5;
- по ГОСТам 2590-88; 2591-88; 2879-69; 5559-75; 8560-78 – от 3 до 40 мм – кратно единице; далее 42, 45, 48, 50, 52, 53, 58, 60, 63, 65 мм; в интервалах от 70 до 150 – кратно 5; от 150 до 200 мм – кратно 10;
- по ГОСТ 14955-77 от 0,2 до 3 мм с интервалом 0,05; от 3,1 до 10 мм с интервалом 0,1; от 10, 25 до 13,75 мм с интервалом 0,25; от 14 до 20 мм с интервалом 0,5 и от 21 до 30 мм с интервалом 1 мм;
- по ГОСТ 7417-75 от 3 до 4,2 мм с интервалом 0,1 мм; далее 4,4; 4,5; 4,6; 4,8; 4,9; 5,0; 5,2; 5,3; 5,5; 5,6; 5,8; 6,0; 6,1; 6,3; 6,5; 6,7; 6,9; 7,0; 7,1; 7,3; 7,5; 7,7; 7,8; 8,0; 8,2; 8,5; 8,8; 9,0; 9,2; 9,3-9,5; 9,8; 10,0; 10,5; 10,8; 11,0; 11,2; 11,5; 11,8; 12,0; 12,5; 12,8; 13,0; 13,5; 14,0; 14,2; 14,5; 14,8; 15,0; 15,2; 15,5; 15,8; 16,0; 16,2; 16,5; 16,8; 17,0; 17,2; 17,5; 17,6; 17,8; от 18 до 22 с интервалом 0,5 мм; от 22 до 42 с интервалом 1 мм; далее 44; 45; 46; 48; 49; 50; 52; 53; 55; 56; 58; 60; 61; 62; 63; 65; 67; 69; 70; 71; 73; 75; 78; 80; 82; 85; 88; 90; 92; 95; 98; 100 мм;
- по ГОСТ 103-76: 12×(4-8); 14×(4-8); 16×(4-12); 18×(4-12); 20×(4-16); 22×(4-18); 25×(4-20); 28×(4-22); 30×(4-22); 32×(4-25); 36×(4-25); 40×(4-32); 45×(4-36); 50×(4-40); 55×(4-40); 60×(4-45); 63×(4-50); 65×(4-50); 70×(4-45); 75×(4-45); 80×(4-56); далее ширина полосы от 85 до 130 возрастает кратно 5, а от 130 до 200 мм – кратно 10; толщина полос (размеры в скобках) берется из ряда 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 30, 32, 36, 40, 45, 50, 56, 60 мм;
- по ГОСТ 4405-75 для горячекатаной стали: 12×(3-7); 14×(4-7); 16×(4-6) с интервалом толщин 1 мм: 8×(20-50); 10×(20-50); 12×(25-50); 14×(25-40); 16×(25-50); 18×(25-35); 20×(25-50); 22×(30-35); 25×(30-40); 30×(35-50); 35×(50-55) с интервалом размеров по ширине 5 мм; 8X(60-120); 10×(80-160); 12×(100-160); 16×(60-100); 20×(60-180); 30×(180-200) с интервалом размеров по ширине 20 мм; для ковальной стали: 20×(40-50); 22×(45-50); 35×(60-80) с интервалом размеров по ширине 5 мм; 20×(60-100); 30×(40-60); 30×(90-130); 45×(80-90) с интервалом размеров по ширине 10 мм; 40×(60-120) с интервалом размеров по ширине 20 мм; 50×(100-250); 75×(100-300) с интервалом размеров по ширине 50 мм (ГОСТ 4405-75 предусматривает и другие сечения полосовой ковальной и горячекатаной сталей);
- по ГОСТ 1577-81, ГОСТ 19903-74: (0,5-0,9)×(500-700); (1,0-1,4)×(500-1000); (1,5-7,0)×(500-1500); (8,0-10,0)×(500-2000); (11-40)×(1000-2500). При этом ряд стандартных размеров ширины: 500; 700; 1000; 1500; 1800; 2000; 2500 мм; ряд стандартных размеров толщины: 0,5; 0,55; 0,60; 0,65; 0,70; 0,75; 0,8; 0,9; 1,0; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,5; 2,8; 3,0; 3,2; 3,5; 3,8; 3,9; 4,0; 4,5; от 5 до 22 с интервалом размеров 1 мм; от 26 до 42 с интервалом 2 мм;
- по ГОСТ 19904-90: (0,5-1,0)×(500-1000); (1,2-5,0)×(500-2000); при этом ряд стандартных размеров ширины: 500; 700; 800; 900; 1000; 1250; 1400; 1500; 1800; 2000 мм; ряд стандартных размеров толщины: 0,5; 0,55; 0,60; 0,65; 0,70; 0,75; 0,80; 0,9; 1,0; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6;

- 1,7; 1,8; 2,0; 2,2; 2,5; 2,8; 3,0; 3,2; 3,5; 3,8; 3,9; 4,0; 4,2; 4,8; 5 мм (ГОСТ 1577–81, ГОСТ 19903–74 и ГОСТ 19904–90 предусматривают и другие сечения листовой стали, а также поставку листов в рулонах).

Таблица П7.3

Трубы стальные бесшовные холоднодеформированные  
ГОСТ 8734–75\*



D, мм	s, мм		D, мм	s, мм		D, мм	s, мм	
	от	до		от	до		от	до
5		1,4	10		3,5	20		6,0
6		2,0	12		3,5	22		6,0
7	0,5	2,5	14	0,5	4,0	25	0,5	7,0
8		2,5	16		4,5	28		7,0
9		2,8	18		5,0	30		8,0

*Примечания.*

1. ГОСТ 8734–75 предусматривает и другие размеры труб в указанном ряду, а также трубы диаметром  $D \leq 250$  мм.

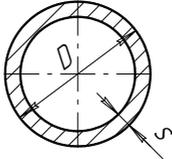
2. В указанных пределах толщины  $s$  стенок брать из ряда: 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,5; 2,8; 3,0; 3,2; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 7,5; 8,0 мм.

3. Трубы изготовляют: немерной длины 1,5–11,5 м; мерной длины 4,5–9 м, кратной мерной 1,5–9 м.

4. Пример обозначения трубы наружным диаметром 12 мм, толщиной стенки 2,0 мм, из стали 10, изготовляемой по группе В ГОСТ 8733–74\*;

$$\text{Труба} \frac{12 \times 2 \text{ ГОСТ } 8734 - 75}{\text{В10 ГОСТ } 8733 - 74}.$$

## Трубы стальные бесшовные горячекатаные (ГОСТ 8732–78)



D, мм	s, мм		D, мм	s, мм		D, мм	s, мм			
	от	до		от	до		от	до		
25	2,5	4,0	73	3,0	18	152	4,5	36		
28			76			159				
32			83	22	168	5,0	45			
38			89		180					
42			95		194					
45		5,0	102	4,0	28	203	6,0	50		
50		5,5	108			219				
54		3,0	11,0		4,0	30	245	7,0	75	
57			12,0				121			273
60			14,0				127			299
63,5	133				325					
68	16,0		140		4,5	36	351	8,0	75	
70			146							

*Примечания.*

- ГОСТ 8732–78 предусматривает также трубы диаметром  $D \leq 530$  мм.
- В указанных пределах толщины  $s$  стенок брать из ряда: 2,5; 2,8; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 30; 32; 36; 40; 45; 50; 56; 60; 63; 05; 70; 75 мм.
- Трубы изготовляют длиной: немерной от 1,5 до 11,5 м; мерной от 4,5 до 9 м, кратной мерной от 1,5 до 9 м.
- Пример обозначения трубы с наружным диаметром 70 мм, толщиной стенки 3,5 мм, длиной, кратной 1250 мм, из стали 10, изготавливаемой по группе В ГОСТ 8731–74:

Труба  $\frac{70 \times 3,5 \times 1250 \text{ кр. ГОСТ 8732-78}}{В10 \text{ ГОСТ 8731-74}}$ .

**Медь**

Медь	Примерное назначение
М1	Для изготовления токопроводящих деталей.
М2	Ролики, фольга, сплавы на медной основе
М3	Уплотнительные кольца, заклепки, литейные сплавы

*Примечания.*

- ГОСТ 859–78 предусматривает и другие марки меди.
- Медь изготовляют в виде листов (ГОСТ 495–92) горячекатаных толщиной 0,4–12 мм, холоднокатаных (отожженную и неотожженную) толщиной 3–25 мм; прутков (ГОСТ 1535–91) горячекатаных диаметром 32–100 мм, тянутых диаметром 3–50 мм; фольги рулонной (ГОСТ 5638–75) толщиной 0,015–0,05 и шириной 20–230 мм.

**Бронзы (ГОСТ 613–79 и ГОСТ 18175–78\*)  
и латуни (ГОСТ 15527–90)**

Бронза	Примерное назначение
БрО5Ц5С5	Подшипники скольжения, накладные направляющие, копирные втулки для нарезания резьбы
БрАЖ9-4	Подшипники скольжения, работающие при ударной нагрузке, фрикционные диски, упорные кольца, червячные колеса
БрКМц3-1	Детали с высокой коррозионной стойкостью, износостойкостью
Л63, Л96, ЛС59–1	Втулки, уплотнительные кольца, штуцеры, угольники, тройники и трубопроводы пневмокоммуникаций

*Примечания.*

- Бронзы изготовляют в виде прутков: оловянные (БрО5Ц5С5) диаметром 5–40 мм (ГОСТ 6511–60); безоловянные (БрАЖ9-4 и БрКМц3-1) диаметром 5–40 мм тянутые, диаметром 16–160 прессованные, диаметром 30–100 катаные (ГОСТ 1628–78).
- Латуни изготовляют в виде прутков диаметром 10–160 мм (ГОСТ 2060–90); лент толщиной 0,05–2 мм и шириной 10–600 мм (ГОСТ 2208–75); горячекатаных листов размером 600×1500 при толщине 5–25 мм катаных (по ГОСТ 931–78); холоднокатаных листов размером 600×1500 при толщине 0,4–12 мм (ГОСТ 931–78); холоднокатаных полос размерами (0,4–10)×(40–500) мм (ГОСТ 931–78); труб с наружным диаметром 3–45 мм, толщиной стенок 0,5–6 мм (ГОСТ 494–76).

Таблица П7.7

## Алюминиевые сплавы (ГОСТ 2685–75\* и ГОСТ 4784–74\*)

Сплав	Примерное назначение
АЛ2	Ответственные отливки: ползуны, планшайбы, шкивы тонкостенные
АЛ4	Отливки крупных деталей конфигурации средней сложности, высоконагруженные детали ответственного назначения
АЛ15В	Маховички органов управления, крышки пневмоцилиндров размером 100 мм и более
Д1Т	Поршни, крышки пневмоцилиндров, корпуса и золотники клапанов и пневмораспределителей
Д16Т	Плиты накладных кондукторов средних размеров, планшайбы малонагруженных приспособлений и другие детали узлов с малой массой при значительных габаритных размерах

*Примечание.* Алюминиевые сплавы изготовляют в виде прутков (ГОСТ 21488–76\*): круглые диаметром 5–300 мм; квадратные со вписанной окружностью диаметром 7–150 мм; листов (ГОСТ 21631–76) толщиной 5,0–10,5 мм; полос (ГОСТ 13616–78) размерами (5–80)×(50–200) мм; угольников равнобоких (ГОСТ 13737–80) со стороной 15–90 мм и толщиной полки 3–9 мм; швеллеров (ГОСТ 13623–80) с высотой 25–100 мм; шириной полки 15–50 мм и толщиной стенки и полок 1,5–5 мм.

*Операционные припуски на механическую обработку*

Таблица П8.1

Припуски на механическую обработку валов  
(наружные поверхности вращения)

Номи- нальный диаметр	Способ обработки поверхности	Минимальный припуск на диаметр при длине вала					
		До 120	Св. 120 до 260	Св. 260 до 500	Св. 500 до 800	Св. 800 до 1250	Св. 1250 до 2000
До 30	Черновое и однократное	<u>1,2</u> 1,1	<u>1,7</u> —	—	—	—	—
	Чистовое	<u>0,25</u> 0,25	<u>0,3</u> —	—	—	—	—
	Тонкое	0,12 0,12	<u>0,15</u> —	—	—	—	—
Св. 30 до 50	Черновое и однократное	<u>1,2</u> 1,1	<u>1,5</u> 1,4	<u>2,2</u> —	—	—	—
	Чистовое	<u>0,3</u> 0,25	<u>0,3</u> 0,25	<u>0,35</u> —	—	—	—
	Тонкое	<u>0,15</u> 0,12	<u>0,16</u> 0,13	<u>0,20</u> —	—	—	—
Св. 50 до 80	Черновое и однократное	<u>1,5</u> 1,2	<u>1,7</u> 1,5	<u>2,3</u> 2,1	<u>0,31</u> —	—	—
	Чистовое	<u>0,25</u> 0,20	<u>0,3</u> 0,25	<u>0,3</u> 0,3	<u>0,4</u> —	—	—
	Тонкое	<u>0,14</u> 0,12	<u>0,15</u> 0,13	<u>1,17</u> 0,16	<u>0,23</u> —	—	—
Св. 80 до 120	Черновое и однократное	<u>1,6</u> 1,2	<u>1,7</u> 1,3	<u>2,0</u> 1,7	<u>2,5</u> 2,3	<u>3,3</u> —	—
	Чистовое	<u>0,25</u> 0,25	<u>0,3</u> 0,25	<u>0,3</u> 0,3	<u>0,3</u> 0,3	<u>0,35</u> —	—
	Тонкое	0,14 0,13	0,15 0,13	0,16 0,15	0,17 0,17	<u>0,20</u> —	—

Номи- нальный диаметр	Способ обработки поверхности	Минимальный припуск на диаметр при длине вала					
		До 120	Св. 120 до 260	Св. 260 до 500	Св. 500 до 800	Св. 800 до 1250	Св. 1250 до 2000
<i>Точение проката обычной точности</i>							
До 30	Черновое и од- нократное	<u>1,3</u> 1,1	<u>1,7</u> —	—	—	—	—
	Получистовое	<u>0,45</u> 0,45	<u>0,50</u> —	—	—	—	—
	Чистовое	<u>0,25</u> 0,20	<u>0,25</u> —	—	—	—	—
	Тонкое	<u>0,13</u> 0,12	<u>0,15</u> —	—	—	—	—
Св. 30 до 50	Черновое и од- нократное	1,3 1,1	1,6 1,4	<u>2,2</u> —	—	—	—
	Получистовое	<u>0,45</u> 0,45	<u>0,45</u> 0,45	<u>0,50</u> —	—	—	—
	Чистовое	<u>0,25</u> 0,20	<u>0,25</u> 0,25	<u>0,30</u> —	—	—	—
	Тонкое	<u>0,13</u> 0,12	<u>0,14</u> 0,13	<u>0,16</u> —	—	—	—
Св. 50 до 80	Черновое и од- нократное	<u>1,5</u> 1,1	<u>1,7</u> 1,5	<u>2,3</u> 2,1	<u>3,1</u> —	—	—
	Получистовое	0,45 0,45	<u>0,50</u> 0,45	<u>0,50</u> 0,50	<u>0,55</u> —	—	—
	Чистовое	<u>0,25</u> 0,20	<u>0,25</u> 0,25	<u>0,30</u> —	—	—	—
	Тонкое	<u>0,13</u> 0,12	<u>0,14</u> 0,13	<u>0,16</u> —	—	—	—
Св. 50 до 80	Черновое и од- нократное	1,5 1,1	1,7 1,5	<u>2,3</u> 2,1	<u>3,1</u> —	—	—
	Получистовое	<u>0,45</u> 0,45	<u>0,50</u> 0,45	<u>0,50</u> 0,50	<u>0,55</u> —	—	—
	Чистовое	<u>0,25</u> 0,20	<u>0,30</u> 0,25	<u>0,30</u> 0,30	<u>0,35</u> —	—	—
	Тонкое	<u>0,13</u> 0,12	<u>0,14</u> 0,13	<u>0,18</u> 0,16	<u>0,20</u> —	—	—

Номи- нальный диаметр	Способ обработки поверхности	Минимальный припуск на диаметр при длине вала					
		До 120	Св. 120 до 260	Св. 260 до 500	Св. 500 до 800	Св. 800 до 1250	Св. 1250 до 2000
Св. 80 до 120	Черновое и однократное	<u>1,8</u> 1,2	<u>1,9</u> 1,3	<u>2,1</u> 1,7	<u>2,6</u> 2,3	<u>3,4</u> —	—
	Получистовое	<u>0,50</u> 0,45	<u>0,50</u> 0,45	<u>0,50</u> 0,50	<u>0,50</u> 0,50	<u>0,55</u> —	—
	Чистовое	<u>0,25</u> 0,25	<u>0,25</u> 0,25	<u>0,30</u> 0,25	<u>0,30</u> 0,30	<u>0,35</u> —	—
	Тонкое	<u>0,15</u> 0,12	<u>0,15</u> 0,13	<u>0,16</u> 0,14	<u>0,18</u> 0,17	<u>0,20</u> —	—
Св. 120 до 180	Черновое и однократное	<u>2,0</u> 1,3	<u>2,1</u> 0,180,4	<u>2,3</u> 1,8	<u>2,7</u> 2,3	<u>3,5</u> 3,3	<u>4,8</u> —
	Получистовое	<u>0,50</u> 0,54	<u>0,50</u> 0,45	<u>0,50</u> 0,50	<u>0,50</u> 0,50	<u>0,50</u> 0,55	<u>0,65</u> —
	Чистовое	<u>0,30</u> 0,25	<u>0,30</u> 0,25	<u>0,30</u> 0,25	<u>0,30</u> 0,30	<u>0,35</u> 0,30	<u>0,40</u> —
	Тонкое	<u>0,15</u> 0,12	<u>0,15</u> 0,13	<u>0,16</u> 0,15	<u>0,18</u> 0,17	<u>0,21</u> 0,20	<u>0,27</u> —
Св. 120 до 260	Черновое и однократное	<u>2,3</u> 1,4	<u>2,4</u> 1,5	<u>2,6</u> 1,8	<u>2,9</u> 2,4	<u>3,6</u> 3,2	<u>5,0</u> 4,6
	Получистовое	<u>0,50</u> 0,45	<u>0,50</u> 0,45	<u>0,50</u> 0,50	<u>0,55</u> 0,50	<u>0,60</u> 0,55	<u>0,65</u> 0,65
	Чистовое	<u>0,30</u> 0,25	<u>0,30</u> 0,25	<u>0,30</u> 0,25	<u>0,30</u> 0,30	<u>0,35</u> 0,35	<u>0,40</u> 0,40
	Тонкое	<u>0,17</u> 0,13	<u>0,17</u> 0,14	<u>0,18</u> 0,15	<u>0,19</u> 0,17	<u>0,22</u> 0,20	<u>0,27</u> 0,26
<i>Точение штампованных заготовок</i>							
До 18	Черновое и однократное	<u>1,5</u> 1,4	<u>1,9</u> —	—	—	—	—
	Чистовое	<u>0,25</u> 0,25	<u>0,30</u> —	—	—	—	—
	Тонкое	<u>0,14</u> 0,14	<u>0,15</u> —	—	—	—	—

Номи- нальный диаметр	Способ обработки поверхности	Минимальный припуск на диаметр при длине вала					
		До 120	Св. 120 до 260	Св. 260 до 500	Св. 500 до 800	Св. 800 до 1250	Св. 1250 до 2000
Св. 18 до 30	Черновое и од- нократное	<u>1,6</u> 1,5	<u>2,0</u> 1,8	<u>2,3</u> —	—	—	—
	Чистовое	<u>0,25</u> 0,25	<u>0,30</u> 0,25	<u>0,30</u> —	—	—	—
	Тонкое	<u>0,14</u> 0,14	<u>0,15</u> 0,14	<u>0,16</u> —	—	—	—
Св. 30 до 50	Черновое и од- нократное	<u>1,8</u> 1,7	<u>2,3</u> 2,0	<u>3,0</u> 2,7	<u>3,5</u> —	—	—
	Чистовое	0,30 0,25	0,30 0,30	<u>0,30</u> 0,30	<u>0,35</u> —	—	—
	Тонкое	<u>0,14</u> 0,14	<u>0,15</u> 0,14	<u>0,16</u> —	— —	—	—
Св. 50 до 80	Черновое и од- нократное	<u>2,2</u> 2,0	<u>2,9</u> 2,6	<u>3,4</u> 2,9	<u>4,2</u> 3,6	<u>5,0</u> —	—
	Чистовое	<u>0,30</u> 0,30	<u>0,30</u> 0,30	<u>0,35</u> 0,30	<u>0,40</u> 0,30	<u>0,45</u> —	—
	Тонкое	<u>0,16</u> 0,16	<u>1,18</u> 0,17	<u>0,20</u> 0,18	<u>0,22</u> 0,20	<u>0,26</u> —	—
Св. 80 до 120	Черновое и од- нократное	<u>2,6</u> 2,3	<u>3,3</u> 3,0	<u>4,3</u> 3,8	<u>5,2</u> 4,5	<u>6,3</u> 5,2	8,2 —
	Чистовое	<u>0,30</u> 0,30	<u>0,30</u> 0,30	<u>0,40</u> 0,45	<u>0,45</u> 0,40	<u>0,50</u> 0,45	0,60 —
	Тонкое	<u>0,17</u> 0,17	<u>0,19</u> 0,18	<u>0,23</u> 0,21	<u>0,26</u> 0,24	<u>0,30</u> 0,26	<u>0,38</u> —
Св. 120 до 180	Черновое и од- нократное	3,2 2,8	4,6 4,2	5,0 4,5	6,2 5,6	<u>7,5</u> 6,7	—
	Чистовое	<u>0,35</u> 0,30	<u>0,40</u> 0,30	<u>0,45</u> 0,40	<u>0,50</u> 0,45	<u>0,60</u> 0,35	—
	Тонкое	<u>0,20</u> 0,20	<u>0,24</u> 0,22	<u>0,25</u> 0,23	<u>0,30</u> 0,27	<u>0,35</u> 0,32	—

Номинальный диаметр	Способ обработки поверхности	Минимальный припуск на диаметр при длине вала					
		До 120	Св. 120 до 260	Св. 260 до 500	Св. 500 до 800	Св. 800 до 1250	Св. 1250 до 2000
<i>Шлифование заготовок</i>							
До 30	Предварительное после термообработки	0,30	0,60	—	—	—	—
	Предварительное после чистового точения	0,10	0,10	—	—	—	—
	Чистовое после предварительного шлифования	0,06	0,06	—	—	—	—
Св. 30 до 50	Предварительное после термообработки	0,25	0,50	0,85	—	—	—
	Предварительное после чистового точения	0,10	0,10	0,10	—	—	—
	Чистовое после предварительного шлифования	0,06	0,06	0,06	—	—	—
Св. 50 до 80	Предварительное после термообработки	0,25	0,40	0,75	1,20	—	—
	Предварительное после чистового точения	0,10	0,10	0,10	0,10	—	—
	Чистовое после предварительного шлифования	0,06	0,06	0,06	0,06	—	—
Св. 80 до 120	Предварительное после термообработки	0,20	0,35	0,65	1,00	1,55	—
	Предварительное после чистового точения	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	—
	Чистовое после предварительного шлифования	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	—

Номинальный диаметр	Способ обработки поверхности	Минимальный припуск на диаметр при длине вала					
		До 120	Св. 120 до 260	Св. 260 до 500	Св. 500 до 800	Св. 800 до 1250	Св. 1250 до 2000
Св. 120 до 180	Предварительное после термообработки	0,17	0,30	0,55	0,85	1,30	2,10
	Предварительное после чистового точения	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
	Чистовое после предварительного шлифования	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06

*Примечания.*

1. Припуски при точении в числителе указаны при установке заготовки в центрах, в знаменателе – в патроне.

2. Если величина припуска при шлифовании не может быть снята за один проход, то 70 % его удаляют на первом и 30 % на втором проходах.

3. Величины припусков на обработку конических поверхностей принимать те же, что и на обработку цилиндрических, устанавливая их по наибольшему диаметру.

Таблица П8.2

Припуски на обработку отверстия

Вид обработки отверстия	Минимальный припуск на диаметр для интервала диаметров, мм				
	От 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 260
<i>Припуски для заготовок, полученных литьем или штамповкой</i>					
Черновое растачивание или зенкерование отливок из:					
– серого чугуна	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
– ковкого чугуна	2,7	3,0	3,5	4,0	4,5
– бронзы	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
– горячештампованных заготовок	1,6	2,5	2,5	3,5	4,0
– заготовок после свободнойковки	3,0	3,0	3,0	3,5	5,5
Чистовое растачивание или зенкерование после:					
– сверления	1,5	1,7	–	–	–
– чернового растачивания или зенкерования	1,1	1,3	1,6	1,8	2,0

Развертывание после:							
– зенкерования	0,45	0,55	0,65	–	–	–	–
– чистового растачивания	0,40	0,45	0,55	–	–	–	–
Шлифование незакаленных заготовок при длине обработки, мм:							
– от 100 до 200	0,35	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60
– св. 200 до 300	–	0,40	0,50	0,50	0,50	0,55	0,60
Шлифование закаленных заготовок при длине обработки, мм:							
– от 50 до 100	0,35	0,40	0,60	0,60	0,60	0,65	0,70
– св. 100 до 200	0,35	0,40	0,65	0,65	0,65	0,70	0,75
– св.200 до 300	–	0,50	0,70	0,70	0,70	0,75	0,80
<i>Припуски для заготовок из проката</i>							
Вид обработки отверстия	Минимальный припуск на диаметр для интервала диаметров, мм						
	От 20 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 260
Развертывание:							
– черновое	0,16	0,20	0,24	0,27	0,30	–	–
– чистовое	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	–	–
Растачивание под шлифование при длине обработки, мм							
– до 50	0,30	0,30,	0,40	0,40	0,50	0,50	0,60
– св. 50 до 100	0,30	0,40	0,40	0,40	0,50	0,50	0,50
– св. 100 до 300	–	0,40	0,40	0,40	0,50	0,60	0,70
– св. 300 до 500	–	–	–	–	0,60	0,60	0,70
Шлифование до термической обработки	0,30	0,30	0,30	0,40	0,50	0,50	–
Шлифование после термической обработки							
– черновое	0,20	0,20	0,20	0,30	0,30	0,30	–
– чистовое	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,20	–
– притирка	0,01	0,01	0,01	0,015	0,02	0,01	–

<i>Припуски на диаметр под тонкое (алмазное) растачивание</i>						
Материал заготовки	Обработка	Минимальный припуск на диаметр при диаметре отверстия, мм				
		До 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180
Алюминий	Черновая	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5
	Чистовая	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Баббит	Черновая	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6
	Чистовая	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Бронза и чугун	Черновая	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4
	Чистовая	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Сталь	Черновая	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
	Чистовая	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Таблица П8.3

Припуск на черновую обработку торцов (в мм)

Диаметр обрабатываемой детали	Припуск	Диаметр обрабатываемой детали	Припуск
До 20	1,0	Св. 75 до 125	2,0
Св. 20 до 30	1,5	Св. 125 до 150	2,0
Св. 30 до 45	1,5	до 150	2,5
Св. 45 до 75	1,5		

Таблица П8.4

Припуски на чистовую подрезку и шлифование торцов (в мм)

Диаметр обрабатываемой детали, $d$	Общая длина обрабатываемой детали					
	До 18	Св. 18 до 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 260	Св. 260 до 500	Св. 500
	Припуск, мм					
<i>Чистовая подрезка</i>						
До 30	0,4	0,5	0,7	0,8	1,0	1,2
Св. 30 до 50	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2
Св. 50 до 120	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,3
Св. 120 до 260	0,7	0,9	1,0	1,0	1,2	1,4
Св. 260	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,5

Диаметр обрабатываемой детали, $d$	Общая длина обрабатываемой детали					
	До 18	Св. 18 до 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 260	Св. 260 до 500	Св. 500
	Припуск, мм					
<i>Шлифование</i>						
До 30	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6
Св. 30 до 50	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6
Св. 50 до 120	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6
Св. 120 до 260	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7
Св. 260	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7

*Примечание.* При обработке валов с уступами припуск брать на каждый уступ отдельно, исходя из его диаметра  $d$  и общей длины вала  $l$ .

Таблица П8.5

**Припуски на промежуточные операции  
при обработке плоскостей (в мм)**

Длина плоскости	Пределы припусков	Под чистовое фрезерование после черного фрезерования			Под чистовое строгание после черного строгания			Под чистовое шлифование после чистового фрезерования или чистового строгания					
		Чугунных и стальных сырых плоскостей			Стальных закаленных плоскостей			Чугунных и стальных сырых плоскостей		Стальных закаленных плоскостей			
		Ширина плоскости											
		До 100	101–200	Св. 200	До 100	101–200	Св. 200	До 100	101–200	Св. 200	До 100	101–200	Св. 200
До 100	Наибольший	0,90	–	–	0,70	–	–	0,27	–	–	0,30	–	–
	Наименьший	0,75	–	–	0,60	–	–	0,20	–	–	0,23	–	–
101–250	Наибольший	1,00	1,20	–	0,80	0,90	–	0,30	0,40	–	0,35	0,45	–
	Наименьший	0,80	0,90	–	0,60	0,70	–	0,20	0,25	–	0,25	0,30	–
251–500	Наибольший	1,20	1,30	1,40	1,00	1,00	1,00	0,40	0,45	0,50	0,45	0,50	0,60
	Наименьший	0,90	1,00	1,00	0,70	0,75	0,80	0,25	0,25	0,30	0,30	0,35	0,40
Св. 500	Наибольший	1,40	1,50	1,50	1,10	1,20	1,20	0,50	0,50	0,55	0,55	0,50	0,65
	Наименьший	1,00	1,10	1,10	0,80	0,90	0,30	0,30	0,30	0,35	0,35	0,40	0,45

Таблица П8.6

Припуски на плоское шлифование  
для деталей 7–9-го квалитетов точности (в мм)

Длина изделия, $L$	Заготовка	Толщина $\delta$ и ширина $H$							
		$\delta$ до 20				$\delta = 21-50$			
		$H$ до 100	$H = 100-250$	$H = 251-500$	$H = 500-800$	$H$ до 100	$H = 100-250$	$H = 251-500$	$H = 500-800$
Припуски на сторону плоское шлифование для деталей 7-го квалитета									
До 100	Сырая	0,35	–	–	–	0,35	–	–	–
	Каленая	0,5	–	–	–	0,5	–	–	–
101–250	Сырая	0,4	0,5	–	–	0,35	0,4	–	–
	Каленая	0,6	0,7	–	–	0,5	0,6	–	–
251–500	Сырая	0,5	0,6	0,7	–	0,4	0,5	0,6	0,7
	Каленая	0,7	0,8	0,9	–	0,6	0,7	0,8	0,9
501–1000	Сырая	0,6	0,7	0,8	–	0,5	0,6	0,7	0,8
	Каленая	0,8	0,9	1,0	–	0,7	0,8	0,9	1,0
Припуски на сторону плоское шлифование для деталей 9-го квалитета									
До 100	Сырая	0,3	–	–	–	0,3	–	–	–
	Каленая	0,4	–	–	–	0,35	–	–	–
101–250	Сырая	0,3	0,35	–	–	0,3	0,35	–	–
	Каленая	0,45	0,5	–	–	0,4	0,4	–	–
251–500	Сырая	0,35	0,4	0,5	0,6	0,3	0,35	0,4	0,5
	Каленая	0,5	0,6	0,7	0,8	0,45	0,5	0,6	0,7
501–1000	Сырая	0,4	0,5	0,6	0,7	0,35	0,4	0,5	0,6
	Каленая	0,6	0,7	0,8	0,9	0,5	0,6	0,7	0,8

*Примечание.* На детали с минусовыми допусками, имеющие 11–14-й квалитет точности, шероховатость 1,6–0,80 мкм и повышенную точность по плоскости, перпендикулярности и параллельности (линейки, планки, рейки и т. д.), припуск под шлифовку необходимо назначать менее основного значения, выбранного по таблице: для деталей 11-го квалитета – на 15 %, а для деталей 12–14-го квалитетов точности – на 30 %.

Таблица П8.7

## Операционные припуски на обработку пазов (в мм)

Размеры паза		Припуск на ширину $b$	
Глубина $h$	Ширина $b$	Чистовое фрезерование после черного	Шлифование термически обработанных и необработанных после чистового фрезерования
		До 60	От 3 до 6
	Св. 6 до 10	2,0	0,7
	« 10 « 18	3,0	1,0
	« 18 « 18	3,0	1,0
	«18 « 50	3,0	1,0
	« 50 « 80	4,0	1,0
	« 80 « 120	4,0	1,0

Таблица П8.8

## Диаметры сверл для обработки отверстий под нарезание метрической резьбы

Резьба	Шаг резьбы								
	Крупный	Мелкий							
		0,5	0,75	1	1,25	1,5	2	3	4
M2	1,6								
M3	2,5								
M4	3,5	3,5							
M5	4,2	4,5							
M6	5	5,5	5,2						
M8	6,7	7,5	7,2	7					
M10	8,5	9,5	9,2	9	8,7				
M12	10,2	11,5	11,2	11	10,7	10,5			
M14	12	13,5	13,3	13	12,7	12,5			
M16	14	15,5	15,25	15		14,5			
M18	15,5	17,5	17,25	17		16,5	16		
M20	17,5	19,5	19,25	19		18,5	18		

Резьба	Шаг резьбы								
	Круп- ный	Мелкий							
		0,5	0,75	1	1,25	1,5	2	3	4
M22	19,5	21,5	21,25	21		20,5	20		
M24	21		23,5	23		22,5	22		
M27	24		26,25	26		25,5	25		
M30	26,5		29,25	29		28,5	28	27	
M33	29,5		32,5	32		31,5	31	30	
M36	32			35		34,5	34	33	
M39	35			38		37,5	37	36	
M42	37,5			41		40,5	40	39	38
M48	43			47		46,5	46	45	44
M52	46,5			51		50,5	50	49	48

Таблица П8.9

Диаметры стержней под нарезание метрической резьбы  
плашкой (в мм)

Диаметр		Допуск на диаметр стержня	Диаметр		Допуск на диаметр стержня	Диаметр		Допуск на диаметр стержня
резьбы	стерж- ня		резь- бы	стерж- ня		резь- бы	стерж- ня	
3	2,94	-0,06	8	7,90	-0,10	22	21,86	-0,14
3,5	3,42	-0,08	9	8,90	-0,10	24	23,86	-0,14
4	3,92	-0,08	10	9,90	-0,10	27	26,86	-0,14
4,5	4,42	-0,08	11	10,88	-0,12	30	29,86	-0,14
5	4,92	-0,08	12	11,88	-0,12	33	32,83	-0,17
6	5,92	-0,08	16	15,88	-0,12	36	35,83	-0,17
7	6,90	-0,10	18	17,88	-0,12	39	38,83	-0,17
			20	19,86	-0,14			
4	3,96	-0,08	16	15,94	-0,12	32	31,92	-0,17
4,5	4,46	-0,08	17	16,94	-0,12	33	32,92	-0,17
5	4,46	-0,08	18	17,94	-0,12	35	34,92	-0,17
6	5,93	-0,08	20	19,93	-0,14	36	35,92	-0,17
7	6,95	-0,10	22	21,93	-0,14	38	37,92	-0,17
8	7,95	-0,10	24	23,93	-0,14	39	38,92	-0,17
9	8,95	-0,10	25	24,93	-0,14	40	39,92	-0,17
10	9,95	-0,10	26	25,93	-0,14	42	41,92	-0,17
11	10,91	-0,12	27	26,93	-0,14	45	44,92	-0,17
12	11,94	-0,12	28	27,93	-0,14	48	47,92	-0,17
14	13,94	-0,12	30	29,93	-0,14	50	49,92	-0,17
15	14,94	-0,12						

*Допуски линейных размеров по ГОСТ 25346—82*

Интервал размеров, мм	Квалитет																		
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
до 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	1600
3–6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	1200
6–10	0,5	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	110	210	360	580	900	1500
10–18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800
18–30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	11	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100
30–50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500
50–80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000
80–120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500
120–180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000
180–250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600
250–315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200
315–400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700
400–500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300
500–630	4,5	6	9	11	16	22	30	44	70	110	175	280	440	0,7	1,1	1,75	2,8	4,4	7
630–800	5	6	10	13	18	25	35	50	80	125	200	320	500	0,8	1,25	2	3,2	5	8
800–1000	5,5	7	11	15	21	29	40	56	90	140	230	360	560	0,9	1,4	2,3	3,6	5,6	9
1000–1250	6,5	8	13	18	24	34	46	66	105	165	260	420	660	1,05	1,65	2,6	4,2	6,6	10,5
1250–1600	8	9	15	21	21	40	54	78	125	195	310	500	780	1,25	1,95	3,1	5	7,8	12,5
1600–2000	9	11	18	25	35	48	65	92	150	230	370	600	920	1,5	2,3	3,7	6	9,2	15
2000–2500	11	15	22	30	41	57	77	110	175	280	440	700	1100	1,75	2,8	4,4	7	11	17,5
2500–3130	13	18	26	36	50	69	93	135	210	330	540	860	1350	2,1	3,3	5,4	8,6	13,5	21