

# ОСНОВЫ ПРОИЗВОДСТВА И ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ

Учебная программа дисциплины

Конспект лекций

➤ **Лабораторный практикум**

Методические указания по самостоятельной работе

Банк тестовых заданий в системе UniTest



УДК 621.73  
ББК 34.5  
О-75

Электронный учебно-методический комплекс по дисциплине «Основы производства и обработки металлов» подготовлен в рамках инновационной образовательной программы «Материаловедческое образование при подготовке бакалавров, инженеров и магистров по укрупненной группе образовательных направлений и специальностей "Материаловедение, металлургия и машиностроение" в Сибирском федеральном университете», реализованной в ФГОУ ВПО СФУ в 2007 г.

Рецензенты:

Красноярский краевой фонд науки;  
Экспертная комиссия СФУ по подготовке учебно-методических комплексов дисциплин

О-75 Основы производства и обработки металлов. Версия 1.0 [Электронный ресурс]: лаб. практикум / А. И. Булгакова, И. Л. Константинов, Т. Р. Гильманшина, Т. Н. Степанова. – Электрон. дан. (3 Мб). – Красноярск: ИПК СФУ, 2008. – (Основы производства и обработки металлов: УМКД № 61-2007 / рук. творч. коллектива И. Л. Константинов). – 1 электрон. опт. диск (DVD). – Систем. требования: *Intel Pentium* (или аналогичный процессор других производителей) 1 ГГц; 512 Мб оперативной памяти; 3 Мб свободного дискового пространства; привод *DVD*; операционная система *Microsoft Windows 2000 SP 4 / XP SP 2 / Vista* (32 бит); *Adobe Reader 7.0* (или аналогичный продукт для чтения файлов формата *pdf*).  
ISBN 978-5-7638-1056-1 (комплекса)  
ISBN 978-5-7638-1423-1 (лабораторного практикума)  
Номер гос. регистрации в ФГУП НТЦ «Информрегистр» 0320802403 от 27.11.2008 г. (комплекса)

Настоящее издание является частью электронного учебно-методического комплекса по дисциплине «Основы производства и обработки металлов», включающего учебную программу дисциплины, конспект лекций, методические указания по самостоятельной работе, контрольно-измерительные материалы «Основы производства и обработки металлов. Банк тестовых заданий», наглядное пособие «Основы производства и обработки металлов. Презентационные материалы».

Приведены лабораторные работы, включающие краткую теорию, методику проведения лабораторных работ и вопросы для подготовки к защите.

Предназначен для студентов направления подготовки бакалавров 150100.62 «Металлургия» укрупненной группы 150000 «Материаловедение, металлургия и машиностроение».

© Сибирский федеральный университет, 2008

Рекомендовано Инновационно-методическим управлением СФУ  
в качестве учебного пособия

Редактор Л. Х. Бочкарева

Разработка и оформление электронного образовательного ресурса: Центр технологий электронного обучения информационно-аналитического департамента СФУ; лаборатория по разработке мультимедийных электронных образовательных ресурсов при КрЦНИТ

Содержимое ресурса охраняется законом об авторском праве. Несанкционированное копирование и использование данного продукта запрещается. Встречающиеся названия программного обеспечения, изделий, устройств или систем могут являться зарегистрированными товарными знаками тех или иных фирм.

Подп. к использованию 01.10.2008

Объем 3 Мб

Красноярск: СФУ, 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>4</b>
<b>РАЗДЕЛ 1 ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО.....</b>	<b>5</b>
Лабораторная работа 1 Литейные свойства сплавов.....	5
Лабораторная работа 2 Контроль качества отливок.....	10
Лабораторная работа 3 Исследование свойств формовочных и стержневых смесей.....	25
Лабораторная работа 4 Получение отливок в разовых формах .....	37
Лабораторная работа 5 Литье в кокиль .....	45
Лабораторная работа 6 Литье в оболочковые формы.....	50
Лабораторная работа 7 Получение слитков.....	56
<b>РАЗДЕЛ 2 ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ .....</b>	<b>60</b>
Лабораторная работа 1 Определение коэффициента трения методом осадки кольца.....	60
Лабораторная работа 2 Изменение пластичности и сопротивления деформации металла при холодной прокатке .....	64
Лабораторная работа 3 Коэффициенты деформации и захват металла валками при прокатке .....	68
Лабораторная работа 4 Исследование опережения при прокатке .....	76
Лабораторная работа 5 Определение силовых параметров прессования..	80
Лабораторная работа 6 Исследование влияния режимов волочения на механические свойства металлов .....	84
Лабораторная работа 7 Объемная штамповка в открытых и закрытых штампах .....	89
Лабораторная работа 8 Листовая штамповка.....	93
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....</b>	<b>97</b>
Раздел 1 .....	97
Раздел 2 .....	98

## ВВЕДЕНИЕ

Настоящий практикум предназначен для проведения лабораторных работ по дисциплине «Основы производства и обработки металлов». Этот курс предусматривает проведение лабораторных работ при подготовке бакалавров по направлению 150100 «Металлургия». Курс разбит на два модуля «Литейное производство» и «Обработка металлов давлением», состоящих из 7 и 8 лабораторных работ соответственно. Согласно учебной программе дисциплины лабораторные работы по первому модулю проводятся в 5-м семестре, а по второму модулю в 6-м семестре.

В практикуме содержатся сведения по теории, технологии, оборудованию и инструменту литейного производства и обработки металлов давлением. Главное внимание при изложении материала уделено рассмотрению особенностей той или иной технологии, назначению технологических режимов, применяемому оборудованию и используемой оснастке. Материал изложен таким образом, чтобы студент, прочитав методические указания к очередной работе, мог самостоятельно ее выполнить под наблюдением преподавателя или учебного мастера.

По выполненной работе студент составляет отчет, в котором необходимо сформулировать цель работы, описать краткую теорию вопроса, методику проведения работы с указанием оборудования, приборов, инструмента и приспособлений. В отчете также приводятся расчетные формулы с расшифровкой величин, входящих в них.

На основании данных, полученных при выполнении работы, составляются таблицы и строятся графики. Отчеты подлежат защите и сдаче преподавателю. Перечень вопросов к защите приведен в конце каждой лабораторной работы.

Проведение лабораторных работ по данному курсу позволит студентам практически узнать основы технологических процессов литейного производства и обработки металлов давлением, виды брака, возникающего при этих способах металлообработки. Кроме того, в ходе работ студенты должны научиться ориентироваться в возможностях конкретных видов литья и обработки металлов давлением в зависимости от точности, размеров, габаритов и массы получаемых изделий.

Полученные на лабораторных работах практические знания позволят им обоснованно оценивать выбираемый способ изготовления литого или деформированного полуфабриката, исходя из условий работы конкретных деталей, учитывая химический состав, структурное состояние исходного материала и заданный комплекс свойств получаемого полуфабриката.

# РАЗДЕЛ 1

## ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

### Лабораторная работа 1

#### Литейные свойства сплавов

#### Краткие теоретические сведения

*Жидкотекучесть.* Под жидкотекучестью понимают способность сплава заполнять полость формы, воспроизводить полностью ее очертания.

Жидкотекучесть зависит от большого количества факторов, которые можно объединить в три основные группы:

факторы, связанные со свойствами сплава (вязкость, поверхностное натяжение, теплота и интервал кристаллизации, теплопроводность, теплоемкость и др.);

факторы, связанные со свойствами заполняемой формы (шероховатость стенок формы, теплопроводность, газопроницаемость и т.д.);

факторы, зависящие от условий заполнения формы (металлостатический напор, избыточное внешнее давление на расплав, перегрев расплава, температура литейной формы, конструкция литниковой системы и т.д.).

Жидкотекучесть определяют экспериментально по специальным технологическим пробам, которые можно разделить на три группы:

пробы постоянного сечения (спиральная, прутковая; лабиринтная, U-образная и другие);

пробы переменного сечения (клиновья, шариковая);  
комбинированные.

**Пробы постоянного сечения** (рис. 1). Мерой жидкотекучести в пробах постоянного сечения является длина полученного прутка для выбранных условий заливки и охлаждения сплава. Наиболее широко распространены спиральная, комплексная и прутковая пробы.

*Спиральная проба* (рис. 1, а) состоит из чаши 1, фильтра 2, стояка 3, металлоприемника 4 и спирального канала 5 трапецеидального сечения с небольшими выступами 6. О величине жидкотекучести судят по пути, пройденному металлом до затвердевания, т.е. длине прутка. Небольшие выступы 6, нанесенные через 50 мм, облегчают измерение спирали.

*U-образная проба* (рис. 1, б) (проба Ю.А. Нехензи, А.М. Самарина, С.К. Кантеника) имеет вертикальное расположение канала постоянного сечения. Высота подъема металла в канале пробы является количественной характеристикой жидкотекучести. Эта проба позволяет одновременно оценивать линейную усадку сплава и склонность к образованию трещин.

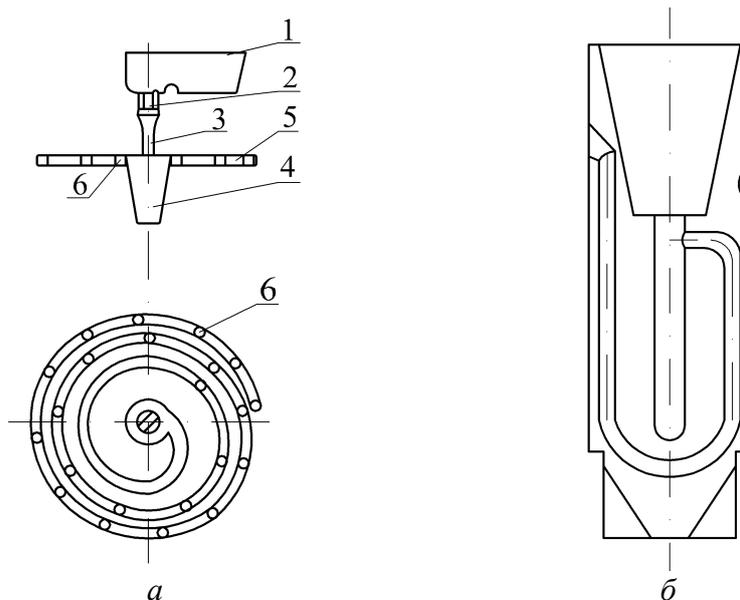


Рис. 1. Пробы постоянного сечения: *а* – спиральная проба; *б* – U-образная проба



Рис. 2. Прутковая проба

Прутковая проба (рис. 2) имеет обычно цилиндрический канал диаметром 5 мм, выполненный в песчано-глинистой форме. Металл поступает в канал из буферного резервуара, заполняемого из литниковой воронки. Заполнение воронки и вхождение металла в канал значительно зависят от условий заливки. Проба должна устанавливаться точно по уровню. Воспроизводимость определения жидкотекучести в этой пробе низкая.

**Пробы переменного сечения (рис. 3).** В клиновой пробе (рис. 3, *а*) полость формы переменного сечения в виде клина заполняется жидким металлом, который проникает в зависимости от жидкотекучести сплава на определенное расстояние. Показателем жидкотекучести является зазор, образующийся между вершиной конуса формы и вершиной затвердевшего металла: чем меньше это расстояние, тем жидкотекучесть больше.

Металлическая шариковая проба (рис. 3, *б*), разработанная А.Г. Спаским, имеет вставку 3, соприкасающуюся с шариком 2, вмонтированным в одну из половинок металлической формы 1.

Металл подводится в нижнюю часть формы через воронку 4 и литниковый канал 5; заполняет пространство между вставкой 3 и шариком 2, оставляя отверстие. Жидкотекучесть характеризуется площадью незаполненного отверстия или его диаметром: чем меньше эти величины, тем больше жидкотекучесть.

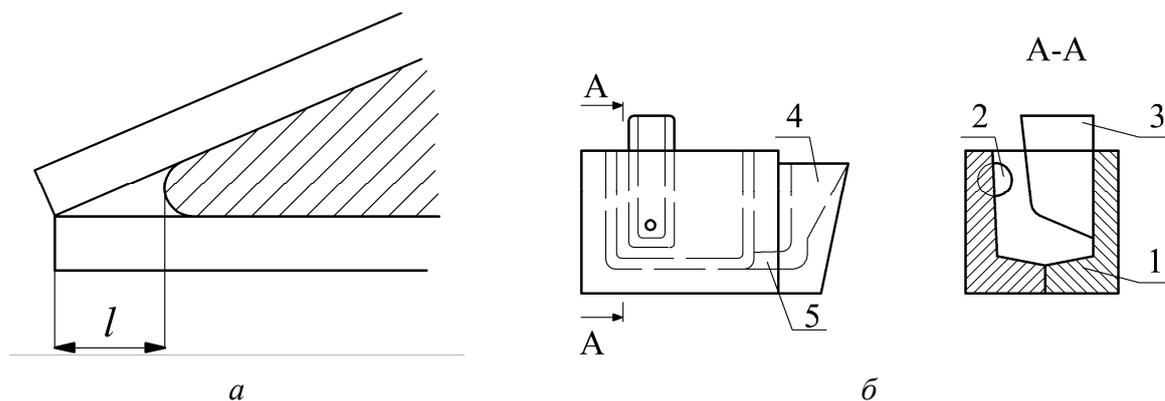


Рис. 3. Пробы переменного сечения: а – клиновая проба; б – шариковая проба

**Усадка.** Усадкой называется уменьшение объема и линейных размеров отливки в период между заполнением формы расплавом и охлаждением отливки до температуры окружающей среды.

Следует различать три периода усадки:

в жидком состоянии до наступления температуры кристаллизации;

при затвердевании в процессе кристаллизации (в интервале температур ликвидус–солидус);

в твердом состоянии.

Различают линейную  $\epsilon_{л}$  и объемную усадку  $\epsilon_{о}$ , %:

$$\epsilon_{л} = \frac{l_{\phi} - l_o}{l_o} \cdot 100, \quad (1)$$

$$\epsilon_{о} = \frac{V_{\phi} - V_o}{V_o} \cdot 100, \quad (2)$$

где  $l_{\phi}$  – линейный размер полости формы, заполненной жидким металлом;  $l_o$  – соответствующий линейный размер отливки;  $V_{\phi}$  – объем полости формы;  $V_o$  – объем отливки после ее полного охлаждения.

По мере охлаждения температура затвердевшей корки, или скелета кристаллов, понижается, в результате этого происходит сокращение линейных размеров отливки. Некоторые металлы и сплавы кристаллизуются с увеличением объема и линейных размеров отливки. Такое увеличение размеров называют предусадочным расширением.

Величина линейной усадки или расширения определяется изменением температуры, коэффициентом линейного расширения и коэффициентом термического сжатия.

Для сплавов, кристаллизующихся в интервале температур, начало линейной усадки соответствует образованию 75–95 % твердой фазы.

Различают линейную (свободную) и литейную (затрудненную) усадку.

Линейной (свободной) усадкой принято называть сокращение линейных размеров, определяемое только свойствами сплава, протекающее без торможения со стороны формы.

Литейной усадкой называют разницу между линейными размерами модели  $l_m$  и отливки  $l_o$ , %:

$$\varepsilon_{л} = \frac{l_m - l_o}{l_o} \cdot 100. \quad (3)$$

Литейная (затрудненная) усадка отличается от линейной (свободной), так как она зависит не только от свойств и состояния металла или сплава, но и от конструкции отливки, конструкции формы (выступающие части формы, стержня, элементы литниковой системы и др.).

Литейную и линейную усадку отливок определяют на образцах модели, которые представлены на рис. 4.

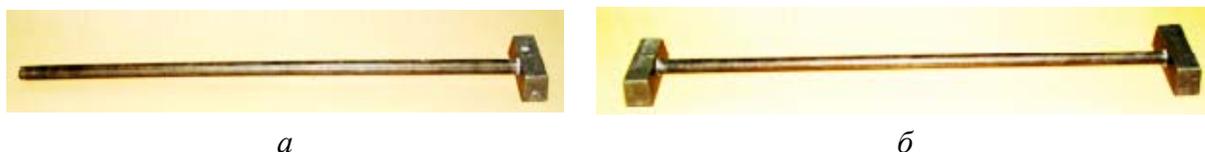


Рис. 4. Модели для определения свободной (а) и затрудненной (б) усадки

По этим моделям в парных опоках изготавливаются формы. Концы образца для определения затрудненной усадки (рис. 4, б) имеют Т-образную форму за счет поперечных полок. Эти полки препятствуют усадке образца в продольном направлении. На модели каждого образца предусмотрены отверстия, которые служат для замера размеров  $l_{\phi}$  и  $l_o$ , необходимых для расчета линейной усадки.

### Методика проведения работы

1. Получить у преподавателя прутковую модель для определения жидкотекучести, модели для определения свободной и затрудненной усадки, опоки, формовочный инструмент.
2. Подготовить рабочее место.
3. Изготовить формы.
4. Залить формы расплавом (силумином) при температуре 720–750 °С
5. Охладить формы.
6. Отливки извлечь из формы, очистить их поверхность от смеси.
7. Произвести осмотр полученных отливок, определить величину жидкотекучести, свободной и затрудненной усадки, сделать соответствующие выводы.

**Контрольные вопросы и задания**

1. Что такое жидкотекучесть сплавов?
2. Перечислите пробы постоянного сечения для определения жидкотекучести.
3. Что является мерой жидкотекучести в пробах постоянного сечения?
4. Каково влияние свойств сплавов и литейной формы на жидкотекучесть?
5. Дайте определение усадки сплавов.
6. Укажите различие между свободной и затрудненной усадками.

## Лабораторная работа 2

### Контроль качества отливок

#### Краткие теоретические сведения

Браком в литейном производстве считаются отливки, которые не соответствуют по качеству стандартам или техническим условиям и не могут быть использованы по прямому назначению без исправлений.

Неисправимым браком считается дефектная отливка, исправление которой технически невозможно или экономически нецелесообразно.

Исправимым браком считается дефектная отливка, которая после исправления может быть использована по прямому назначению.

Для правильного определения причин дефектов, выбора мер по предотвращению и устранению брака отливок важно применять единую систему классификации и учета дефектов отливок. В данной работе рассмотрены наиболее часто встречающиеся дефекты отливок.

#### Несоответствие по геометрии

**Недолив и неслитина.** Недоливом ([рис. 5](#)) называют дефект отливки, выраженный в отсутствии ее части, расположенной главным образом в верхней по заливке зоне или в местах, наиболее удаленных от питателей. Иногда конфигурация отливки выполнена, но внешние грани или углы получились несколько округленные – заоваленные.

**Расположение дефекта.** Обычно недолив обнаруживают сразу же после извлечения отливки из формы, а незаполнение углов и ребер – после очистки. Образование недоливов зависит от характера заполнения формы расплавом. Образовавшийся недолив (обычный) характеризуется окисленной поверхностью и закругленными торцами стенок.

**Формирование дефекта.** Специфической причиной недолива острых углов и ребер может быть плохое смачивание формы расплавом.

Причиной недолива может быть утечка металла в разъем формы, во внутреннюю полость стержня или через разрушенный участок формы. Такой недолив имеет вид углубления, края которого могут выступать в виде заусенцев, примыкающих непосредственно к поверхности формы.

**Неслитина** представляет собой дефект в виде отверстий произвольной формы или сквозной щели в теле отливки.

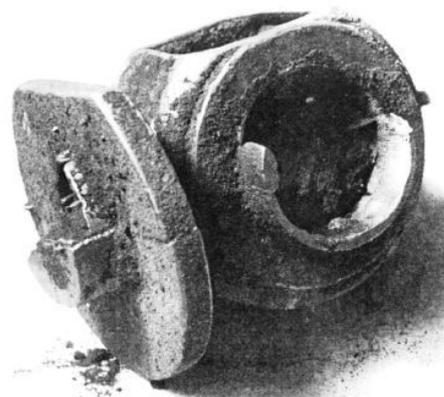


Рис. 5. Отливка «Корпус вентил» с дефектом «Недолив»

*Причины возникновения и меры предупреждения дефектов «Недолив» и «Неслитина» приведены в табл. 1.*

Таблица 1

Причины возникновения дефекта	Меры предупреждения дефекта
Не выдержан химический состав сплава	Выдерживать содержание кремния, фосфора, углерода в жидком чугуне в пределах ГОСТа
Высокая газотворность формовочной или стержневой смеси	Уменьшить содержание влаги и газотворных добавок (молотый кокс и т.п.) в формовочной смеси
Недостаточная вентиляция и газопроницаемость формы или стержня	Уменьшить плотность набивки форм, увеличить количество вентиляционных наколов в форме
Слабое крепление формы (уход металла в разъем формы)	Проложить асбестовый жгут или глину по разьему полуформы, усилить крепление полуформ или увеличить массу груза на форму
Низкая температура заливаемого металла	Увеличить температуру заливаемого металла
Причины возникновения дефекта	Меры предупреждения дефекта
Неправильный расчет элементов литниковой системы	Пересчитать площади сечений элементов литниковой системы
Неправильный подвод металла к отливке	Изменить конструкцию литниковой системы
Недостаточное количество металла в ковше	Привести в соответствие массу металла в ковше с массой жидкого металла

**Подутость** – это дефект в виде местного утолщения отливки вследствие рапспирания неравномерно или недостаточно уплотненной песчаной формы заливаемым металлом.

*Причины образования и меры предупреждения дефекта «Подутость» приведены в табл. 2.*

Таблица 2

Причины возникновения дефекта	Меры предупреждения дефекта
Низкая прочность формовочной или стержневой смеси (не соблюдена рецептура смеси)	Увеличить содержание связующего (глины или органических связующих) в формовочной либо стержневой смеси
Слабое уплотнение формы или стержня	Увеличить плотность набивки (смесь насыпать слоями и уплотнять)
Высокое металлостатическое давление на стенки формы или стержня	Уменьшить высоту стояка (опоки), высокие отливки заливать в наклонном положении; высота струи заливаемого металла должна быть минимальной



Рис. 6. Отливка «Ступица» с дефектом «Разностенность»

**Разностенность** (рис. 6) – это дефект в виде увеличения или уменьшения толщины стенок отливки вследствие смещения, деформации или всплывания стержня.

Причины образования и меры предупреждения данного дефекта приведены в табл. 3.

Таблица 3

Причины возникновения дефекта	Меры предупреждения дефекта
Применение дефектной модельной оснастки	Устранить дефекты оснастки, в работе использовать только годную оснастку
Некачественная сборка формы	Сборку формы производить строго по направляющим штырям опок, использовать штыри и втулки без люфта; применять крючки, жеребейки (для фиксации стержня), а также контрольные шаблоны
Чрезмерное расталкивание модели при извлечении ее из формы	Увеличить уклон на моделях, отремонтировать модель; расталкивание модели производить осторожно

**Перекас** (рис. 7) – это дефект в виде смещения одной части отливки относительно осей или поверхностей другой части по разъему формы, модели или опок вследствие их неточной установки и фиксации при формовке и сборке.

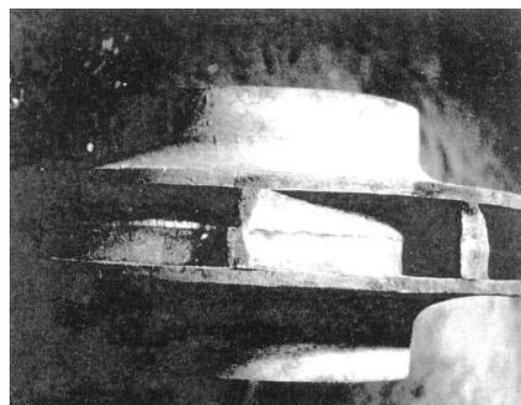


Рис. 7. Отливка «Колесо насоса» с дефектом «Перекас»

*Расположение дефекта.* Обычно форму собирают из нескольких частей с установкой в нее стержней. Неточная сборка комплекта стержней или формы вызывает искажение размеров отливки. В отдельных случаях эти искажения могут достичь значительных размеров, превысить допускаемую величину и привести к смещению.

*Причины образования и меры предупреждения* перекоса приведены в [табл. 4](#).

**Вылом** – это дефект в виде нарушения конфигурации в размере отливки при выбивке, обрубке, отбивке литников и прибылей, очистке и транспортировке.

*Причины образования и меры предупреждения* дефекта «Вылом» приведены в [табл. 5](#).

Таблица 4

Причины возникновения дефекта	Меры предупреждения дефекта
Применение дефектной модельной оснастки	Правильно смонтировать и надежно скрепить модели на модельной плите
Применение дефектной опочной оснастки (поломки, износ направляющих втулок, штырей и т.п.)	Использовать в работе только исправную оснастку без признаков коробления опок и люфта направляющих штырей во втулках
Некачественная оборка	Сборку формы производить строго по направляющим штырям опок; применять крючки, жеребейки (для фиксации стержня), контрольные шаблоны

Таблица 5

Причины возникновения дефекта	Меры предупреждения дефекта
Поломка отливки при выбивке, транспортировке или погрузке	Не допускать сильных ударов отливок при погрузке и транспортировке
Неправильный расчет и конструкция элементов литниковой системы (вылом при отбивке литника характерен для чугунных отливок)	Сечение питателя должно быть меньше сечения питаемой им стенки отливки

**Уход металла** – это дефект в виде пустоты в теле отливки, ограниченной тонкой коркой затвердевшего металла, образовавшейся вследствие вытекания металла из формы при слабом ее креплении.

*Причины образования и меры предупреждения* дефекта «Уход металла» приведены в [табл. 6](#).

Таблица 6

Причины возникновения дефекта	Меры предупреждения дефекта
Слабое крепление или недостаточная загрузка формы	Проложить асбестовый жгут или глину по разьему полуформы, усилить крепление полуформ или увеличить массу груза на форму

### Дефекты поверхности

**Пригар** (рис. 8) представляет собой дефект в виде трудно отделяемого специфического слоя на поверхности отливки, образовавшегося вследствие физического и химического взаимодействия формовочного материала с металлом и его окислами, формовочной смеси. Этот слой прочно удерживается на поверхности отливки.

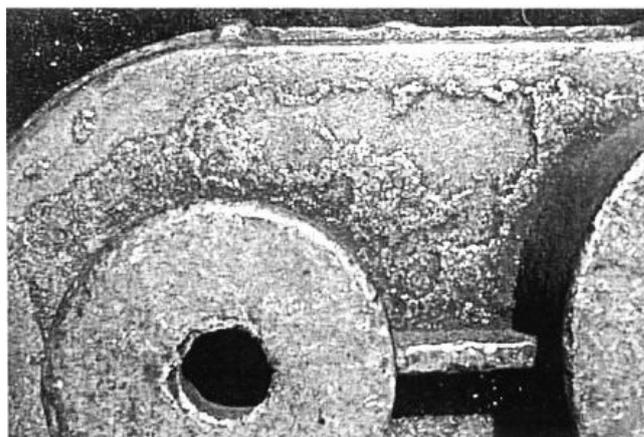


Рис. 8. Фрагмент отливки с дефектом «Пригар»

В большинстве случаев наблюдается пригар комплексный, т.е. химико-механический. Термический пригар сам по себе образуется редко и является продолжением химического пригара.

*Механизм формирования пригара.* Образование пригара вызвано проникновением сплава в поры формы под действием капиллярных сил и давления металла на стенки формы. Проникновение расплава в поры формы является первой стадией процесса образования пригара, а второй его стадией является химическое взаимодействие окислов металла, содержащихся в расплаве (окислов железа и легирующих элементов), и окислов, содержащихся в формовочных материалах. Химическое взаимодействие расплава и формы усиливает проникновение металла в поры формы.

*Причины образования и меры предупреждения* дефекта «Пригар» приведены в [табл. 7](#).

Таблица 7

Причины возникновения дефекта	Меры предупреждения дефекта
Высокая температура заливаемого металла	Перед заливкой форм проверить температуру металла
Применение крупнозернистого песка в формовочной или стержневой смеси	Увеличить содержание в смеси песка мелкозернистой фракции
Слабое уплотнение формы или стержня	Увеличить плотность набивки форм (стержней)
Причины возникновения дефекта	Меры предупреждения дефекта
Некачественное противопригарное покрытие	Наносить на поверхность форм и стержней тонким слоем противопригарное покрытие
Высокое металлостатическое давление на стенки формы	Уменьшить высоту стояка, высокие отливки заливать в наклонном положении; высота струи заливаемого металла должна быть минимальной

**Ужимина** (рис. 9) – это дефект в виде углубления с пологими краями, заполненного формовочным материалом и прикрытого слоем металла, образовавшегося вследствие отслоения формовочной смеси при заливке.

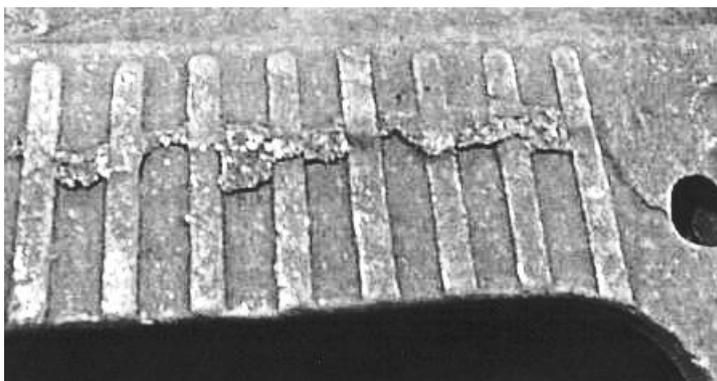


Рис. 9. Отливка «Балансир» с дефектом «Ужимина»

Ужимины возникают в результате быстрого нагрева рабочей поверхности формы и в зависимости от условий образования могут иметь вид неглубоких вытянутых канавок или впадин, тонких, плоских, неправильной формы наростов, сопровождающихся значительными песчаными включениями.

*Механизм формирования ужимин.* В процессе заливки поверхностные слои формы быстро высыхают, а испаряющаяся из них влага перемещается в менее прогретые слои формы, где конденсируется, образуя зону с низкой прочностью и повышенной влажностью. Одновременно начинается расширение формовочной и стержневой смеси, сопровождающееся объемными и линейными расширениями формы.

Под действием этих напряжений возможно отслоение и разрушение поверхностной корки формы вдоль зоны конденсации влаги. Заполняющий форму металл воспроизводит дефект отслоения поверхности формы, в ре-

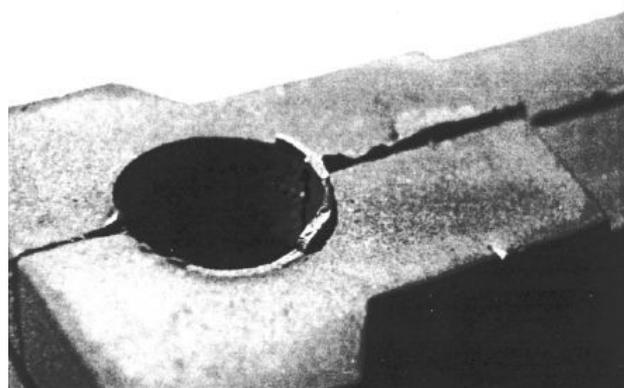
зультате чего на поверхности отливки формируются дефекты, называемые ужимами.

*Причины образования и меры предупреждения* дефекта «Ужимина» приведены в табл. 8.

Таблица 8

Причины возникновения дефекта	Меры предупреждения дефекта
Развитая горизонтальная поверхность отливки	Применять наклонную заливку, на развитых плоскостях формы нарезать температурные швы, применять проशीловку форм
Недостаточная податливость формовочной или стержневой смеси	Уменьшить содержание связующего (глины) в формовочной (стержневой) смеси; применять более податливую смесь из неоднородного по зерновому составу песка, но с малым содержанием мелких фракций; добавить к формовочной (стержневой) смеси органические тонкоизмельченные материалы (например, молотый кокс)
Недостаточная податливость стержней и отдельных частей формы	Не допускать переуплотнения форм (стержней), контролировать их плотность набивки
Высокая влажность формовочной или стержневой смеси	Уменьшить содержание влаги в смеси до минимума
Нарушение режима сушки форм и стержней	Выдержать температуру и время сушки форм и стержней, контролировать их просушенность влагомером
Некачественное противопригарное покрытие формы или стержня	Наносить противопригарное покрытие ровным слоем, не допуская подтеков
Неправильный подвод металла к отливке	Металл к отливке должен подводиться через несколько питателей с тем, чтобы избежать местного нагрева частей формы
Высокая температура заливаемого металла	Перед заливкой форм проверить температуру металла, при необходимости выдержать его в ковше
Низкая скорость заливки форм металлом	Отливку производить быстро, непрерывной струей металла

Рис. 10. Отливка «Опора» с дефектом «Залив»



**Залив** (рис. 10) – это дефект в виде металлического прилива или выступа, возникающего вследствие проникновения жидкого металла в зазоры по разъемам формы, стержней или по стержневым знакам.

Причины образования и меры предупреждения дефекта «Залив» приведены в табл. 9.

Таблица 9

Причины возникновения дефекта	Меры предупреждения дефекта
Применение дефектной модельной оснастки	Уменьшить зазоры между знаковыми частями форм и стержней
Применение дефектной опочной оснастки	Устранить дефекты опочной оснастки либо заменить ее на исправную
Некачественная сборка форм	Перед накрытием полуформ по периметру прокладывать глиняные или асбестовые шнуры, усилить крепление формы или увеличить груз на форму; заделать зазоры между знаковыми частями форм и стержней формовочной смесью
Неправильный подвод металла к отливке	Распредоточить подвод металла, в стальных отливках металл подводить под прибыль, в отливках из серого чугуна – в тонкие части для выравнивания скорости охлаждения

**Засор** – это дефект в виде формовочного материала, внедрившегося в поверхностные слои отливки, захваченного потоком жидкого металла.

Причины образования и меры предупреждения дефекта «Засор» приведены в табл. 10.

Таблица 10

Причины возникновения дефекта	Меры предупреждения дефекта
Низкая прочность формовочной или стержневой смеси	Увеличить содержание связующего в смеси, применять пропилровку формы, использовать крючки и «солдатики»
Слабое уплотнение формы или стержня	Увеличить плотность набивки форм (стержней)
Неправильный расчет и конструкция элементов литниковой системы	Выполнить правильный расчет литниковой системы, изменить ее конструкцию
Некачественная сборка формы	Произвести обдув сжатым воздухом полости формы; не допускать разрушения формы и стержней во время сборки и транспортировки; литниковые чаши и воронки прикрыть в период между сборкой и заливной

### Несплошности в теле отливки

**Горячая трещина** (рис. 11) – это дефект в виде разрыва или надрыва тела отливки усадочного происхождения, возникающего в интервале температур затвердевания. Горячая трещина располагается по границам кристаллов, имеет неровную окисленную поверхность, из которой иногда видны дендриты, чаще всего появляется на участках, затвердевающих последними, где возникают напряжения (например, изменения площади поперечного сечения, выступающие углы).



Рис. 11. Отливка «Рабочее колесо» с дефектом «Горячая трещина»

**Формирование дефекта.** Процесс формирования горячей трещины в отливке можно представить следующим образом. Первоначально корка приобретает прочность и жесткость на плоских или цилиндрических поверхностях и внешних углах сопряжения стенок отливок. Несколько позднее приобретает прочность и жесткость корка во внутренних углах. Возникновение напряжения в корке, связанного с торможением усадки со стороны формы, становится возможным после того, как вся корка на основных стенках, выступающих частях и в углах, будет связана в одно жесткое целое. С течением времени толщина корки увеличивается, удельная прочность металла при ее охлаждении возрастает и общая прочность корки растет еще интенсивнее. С течением времени формовочная смесь расширяется, спекается и оказывает возрастающее сопротивление усадке, что вызывает рост напряжения в твердой корке. Если напряжения в «слабом месте» корки достигают предела прочности металла, то образуется трещина, охватывающая все толщину твердого слоя. За счет образования трещины напряжения разряжаются. С момента образования на поверхности отливки твердой корки в дальнейшем появляются разрывы сплошности в виде трещины, заметной невооруженным глазом.

*Причины образования и меры предупреждения* дефекта «Горячая трещина» приведены в [табл. 11](#).

Таблица 11

Причины возникновения дефекта	Меры предупреждения дефекта
Недостаточная податливость формовочной или стержневой смеси	Уменьшить содержание связующего в формовочной или стержневой смеси, а также уменьшить содержание в смеси песка мелкой фракции
Недостаточная податливость стержней и отдельных частей формы	Уменьшить плотность набивки форм (стержней); установить каркасы; делать ослабления в массивных стержнях
Высокая температура заливаемого металла	Перед заливкой форм проверить температуру металла, при необходимости выдерживать его в ковше
Нетехнологичность отливки	Изменить конструкцию отливки так, чтобы обеспечить одновременное затвердевание различных ее частей, избегать термических узлов в конструкции отливки, применять усадочные ребра и холодильники
Ранняя выбивка отливки из формы	Соблюдать время выдержки отливок в формах после заливки

**Холодная трещина** (рис. 12) – это дефект в виде разрыва тела затвердевшей отливки вследствие внутренних напряжений или механического воздействия. Холодная трещина обычно имеет чистую светлую или с цветами побежалости зернистую поверхность.

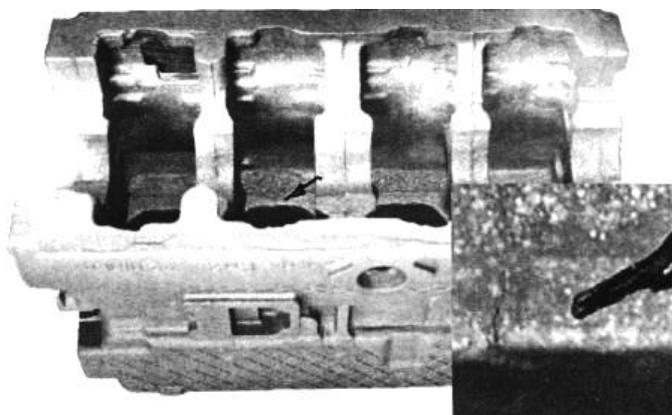


Рис. 12. Дефект отливки «Холодная трещина»

**Формирование трещин.** При охлаждении отливок ниже интервала температур 400–500 °С в их материале преобладают упругие свойства. Трещины, образующиеся в отливках в период преобладания в их материале упругих свойств, называются холодными.

Холодные трещины образуются в зоне растягивающих напряжений и располагаются преимущественно в острых углах и других местах концентрации напряжений. Причиной образования холодных трещин являются остаточные напряжения, возникающие в отливке при ее охлаждении. Кроме того, на образование холодных трещин влияют и временные напряжения.

Холодные трещины, вызываемые остаточными напряжениями, появляются при эксплуатации отливок под воздействием нагрузок значительно

меньших, чем расчетные. Они могут возникнуть без воздействия внешних сил: при очистке, транспортировке или механической обработке. Вероятность образования трещин тем больше, чем меньше прочность или пластичность металла.

*Причины образования и меры предупреждения* дефекта «Холодная трещина» приведены в табл. 12.

Таблица 12

Причины возникновения дефекта	Меры предупреждения дефекта
Неправильный подвод металла к отливке	Изменить схему подвода металла так, чтобы обеспечить равномерное охлаждение отливки и не создавать помех усадке различных ее частей
Недостаточная податливость формовочной или стержневой смеси	Уменьшить содержание связующего в формовочной или стержневой смеси или содержание в смеси песка мелкой фракции
Недостаточная податливость стержней и отдельных частей формы	Уменьшить плотность набивки форм (стержней); устанавливать каркасы, делать ослабления в массивных стержнях
Ранняя выбивка отливок из формы	Соблюдать время выдержки отливок в формах после заливки
Неправильная укладка отливок при термообработке	Не допускать свешивания больших частей отливки, применять опорные приспособления
Поломка отливки при выбивке, транспортировке или погрузке	Не допускать сильных ударов отливок при погрузке и транспортировке, при загрузке в галтовочный барабан
Нарушена технология шихтовки сплава и его плавки	Проверить и откорректировать шихтовку и технологию плавки

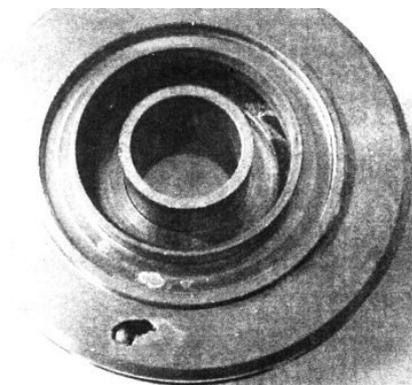


Рис. 13. Отливка с окисленной газовой раковинной

**Газовая раковина** (рис. 13) – это дефект в виде полости, образованной выделившимися из металла или внедрившимися в металл газами.

*Причины образования и меры предупреждения* дефекта «Газовая раковина» приведены в [табл. 13](#).

Таблица 13

Причины возникновения дефекта	Меры предупреждения дефекта
Недостаточные вентиляция и газопроницаемость формы и стержня	Уменьшить плотность набивки форм или стержней, увеличить количество вентиляционных каналов
Высокая газотворная способность формовочной или стержневой смеси	Уменьшить содержание влаги и газотворных добавок (мазут, молотый кокс и т.п.) в формовочной (стержневой) смеси
Неправильный расчет и конструкция элементов литниковой системы	Рассчитать площадь элементов литниковой системы так, чтобы обеспечивались выход газа из формы в момент заполнения ее металлом и спокойное заполнение формы металлом
Низкая температура или скорость сплава	Увеличить температуру заливаемого металла; соблюдать время заполнения формы металлом
Применение некачественных холодильников и жеребеек	Холодильники и жеребейки очистить от ржавчины, масла и других газотворных веществ; не допускать простоя форм с холодильниками и жеребейками до заливки более 4–6 ч
Высокая газонасыщенность металла	Производить дегазацию сплавов; предварительно просушивать шихтовые материалы
Установка в холодную форму горячих стержней или в горячую форму холодных стержней, длительный простой формы	Не допускать установки в холодную форму горячих стержней или в горячую форму холодных стержней, а также длительного простоя форм

**Усадочная раковина** – это дефект в виде открытой или закрытой полости с грубой шероховатой иногда окисленной поверхностью, образовавшейся вследствие усадки при затвердевании металла.

*Причины образования и меры предупреждения* дефекта «Усадочная раковина» приведены в [табл. 14](#).

**Газовая пористость** – это дефект в виде мелких пор, образовавшихся вследствие усадки металла во время его затвердевания при недостаточном питании отливок.

*Причины образования и меры предупреждения* дефекта «Газовая пористость» приведены в [табл. 15](#).

Таблица 14

Причины возникновения дефекта	Меры предупреждения дефекта
Нетехнологичность отливки	Изменить конструкцию отливки путем правильного выбора толщины и обеспечения равномерного сечения ее стенок; применять усадочные ребра и плавные сопряжения углов в конструкции отливки
Неравномерное охлаждение отливки в форме	Применять при необходимости наружные и внутренние холодильники для равномерного охлаждения всех частей отливки
Неправильный подвод металла к отливке	Рассредоточить подвод металла, применять щелевые питатели, в стальных отливках металл подводить под прибыль, в отливках из серого чугуна – в тонкие части для выравнивания скорости охлаждения; применять питающие выпора и бобышки; увеличить поперечное сечение прибылей и улучшить их расположение
Недостаточное подкачивание металла	Производить многократное подкачивание металла в прибыль или литниковую систему до прекращения усадки в стояке; утеплить прибыли
Высокая температура заливаемого металла	Перед заливкой форм проверить температуру металла, при необходимости выдержать его в ковше
Неправильный расчет и расположение прибылей	Увеличить размер прибыли; расположить прибыль на питаемом узле (по возможности); применять местные прибыли

Таблица 15

Причины возникновения дефекта	Меры предупреждения дефекта
Нетехнологичность отливки	Изменить конструкцию отливки путем правильного выбора толщины и обеспечения равномерного сечения ее стенок; применить усадочные ребра и плавные сопряжения углов в конструкции отливки
Недостаточное подкачивание металла	Произвести многократное подкачивание металла в прибыль или литниковую систему до прекращения усадки в стояке, утеплить прибыли
Неправильный подвод металла к отливке	Рассредоточить подвод металла, применить щелевые питатели, в стальных отливках металл подводить под прибыль, в отливках из серого чугуна – в тонкие части для выравнивания скорости охлаждения; применить питающие выпоры и бобышки; увеличить поперечное сечение прибылей и улучшить их расположение

### Несоответствие по структуре

**Отбел** (рис. 14) – это дефект в виде твердых, трудноподдающихся механической обработке мест в различных частях отливки из серого чугуна, вызванных скоплением структурно свободного цементита.

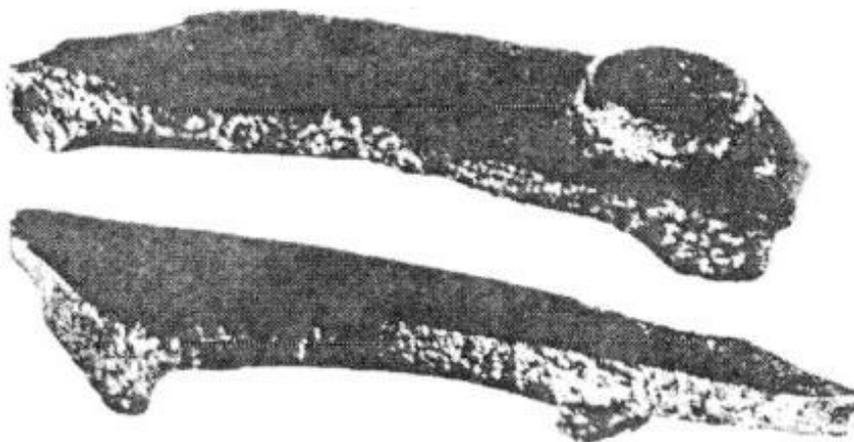


Рис. 14. Фрагменты стенок отливки с дефектом «Отбел»

*Причины образования и меры предупреждения* дефекта «Отбел» приведены в табл. 16.

Таблица 16

Причины возникновения дефекта	Меры предупреждения дефекта
Не выдержан химический состав чугуна	Выдерживать содержание кремния, марганца и углерода в жидком чугуне в пределах требований ГОСТа, применять раскислители
Низкая температура заливаемого металла	Контролировать температуру заливки сплава
Низкая температура металлической формы (кокиля) перед заливкой	Подогреть кокиль перед заливкой до 200–250 °С
Высокая влажность формовочной или стержневой смеси	Уменьшить содержание влаги в смеси до минимума; выдерживать формы до заливки их металлом
Неправильный подвод металла к отливке	Изменить конструкцию литниковой системы, металл подводить в тонкие части отливки для выравнивания скорости охлаждения
Не проведена термическая обработка отливки или нарушен ее режим	Проводить термическую обработку для снятия внутренних напряжений отливок

### **Методика проведения работы**

1. Получить у преподавателя отливки (фотографии) с дефектами, проанализировать их.
2. Описать обнаруженный дефект и возможные причины его появления. Предложить мероприятия по устранению данного дефекта.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Что называют браком в литейном производстве?
2. Какой брак считается исправимым?
3. Почему важно применять единую систему классификации и учета дефектов отливок?
4. Какова классификация дефектов?
5. Перечислите основные дефекты, относящиеся к группе «несоответствие по геометрии».
6. Укажите причины появления и меры предупреждения дефектов, входящих в группу «Несоответствие по структуре».

## Лабораторная работа 3

### Исследование свойств формовочных и стержневых смесей

#### Краткие теоретические сведения

**Классификация формовочных и стержневых смесей.** Смесей классифицируют по признакам, характеризующим их назначение, физическое состояние, состав и свойства.

1. По назначению все смеси делятся на два вида: *формовочные и стержневые*.

**Формовочные смеси.** Формовочные смеси, в свою очередь, делятся на *единые, облицовочные и наполнительные*.

Единую смесь применяют обычно для мелких отливок при машинной формовке. Она имеет свойства, средние между свойствами облицовочных и наполнительных смесей.

Облицовочную смесь применяют для облицовки рабочей поверхности формы. При изготовлении формы поверхность модели покрывают слоем этой смеси толщиной 20–40 мм, остальной объем опоки заполняют наполнительной смесью, которая представляет собой отработанную (бывшую в употреблении) смесь. Наполнительная смесь по прочности уступает облицовочным смесям, но имеет лучшую газопроницаемость.

Единая и облицовочная смеси должны иметь достаточную прочность, обеспечивающую сопротивление формы давлению металла при заливке. При применении облицовочной смеси значительно сокращается расход свежих формовочных материалов и добавок на тонну годных отливок. Однако применение облицовочной смеси усложняет технологию и механизацию изготовления формы.

**Стержневые смеси.** В отличие от форм литейные стержни, образуя в отливках внутренние простые и сложные по конфигурации полости, при заливке формы почти со всех сторон (кроме знаковых частей) омываются расплавом. Поскольку стержни испытывают более сильное, чем формы, термодинамическое воздействие расплава, их изготавливают из смесей, обладающих повышенными газопроницаемостью, прочностью, огнеупорностью, податливостью и другими свойствами.

2. По природе огнеупорной основы смеси разделяют на кремнеземистые, цирконовые и др. Наибольшее распространение получили кремнеземистые смеси, у которых в качестве огнеупорной основы используют кварцевые формовочные пески. Смесей с иной огнеупорной основой применяют, главным образом, в целях предупреждения пригарообразования на массивных стальных и чугуновых отливках.

3. По роду заливаемого металла различают *смеси для стального, чугунового и цветного литья*. Смесей для стального литья изготавливают из наиболее кондиционных формовочных материалов, обеспечивающих высокую огнеупорность, газопроницаемость и другие высокие качественные показате-

ли формам и стержням, так как температурное воздействие металла на форму в этом случае наиболее высокое (температура металла при заливке составляет более 1500 °С). Смесей для чугунного литья изготавливают из менее кондиционных формовочных материалов, так как температура металла при заливке формы в этом случае ниже (1350–1400 °С). Смесей для цветного литья изготавливают из материалов, к которым не предъявляются высокие требования по огнеупорности и газопроницаемости, потому что температура металла при заливке значительно ниже, чем при стальном или чугунном литье. Например, при разливке сплавов на основе меди температура металла не превышает 1200 °С, а сплавов на основе алюминия и магния – 780 °С.

4. По физическому состоянию формы перед заливкой различают смеси для формовки *«по-сухому»* и *«по-сырому»*.

5. По физическому состоянию свежеприготовленные смеси, т.е. по состоянию до начала процесса отверждения, делятся на *сыпучие*, *пластичные* и *жидкие*.

Сыпучие смеси применяются при производстве оболочковых (корковых) форм, а также при изготовлении отливок по газифицированным моделям из пенополистирола. В исходном состоянии они не обладают связностью зерен песка, способны к самопроизвольному воспроизведению контура модели под действием собственной силы тяжести. Связующие пленки в смесях появляются при тепловой обработке за счет расплавления термореактивного порошкообразного связующего. Смесь упрочняется непосредственно на нагретой модельной плите в результате необратимых физико-химических процессов. После твердения форма теряет способность к пластическим деформациям, что улучшает ее транспортабельность.

Сыпучие смеси при литье по газифицированным (выжигаемым расплавом) моделям не содержат связующего. Сохранение контуров полости формы обеспечивается вначале самой моделью, а при ее постепенном выжигании заливаемым расплавом за счет давления газов, фильтрующихся через смесь из зазора между моделью и поступающим расплавом.

Образование формы при использовании жидких смесей происходит путем заливки смеси в опоку (на модель) или окунанием модельного блока в смесь. Упрочнение смесей с их переходом в твердое состояние осуществляется за счет протекания процессов удаления жидкой фазы (воды, спирта и др.) с образованием твердых пленок и химического отверждения связующего между зернами песка. Перевод смесей в жидкое состояние достигается введением в их состав пенообразователей. Пузырьки пены уменьшают силы трения между отдельными зернами огнеупорных наполнителей, в результате чего смесь приобретает способность течь. Применяются такие смеси для «наливной» формовки в опоках и в качестве керамических суспензий для форм при литье по выплавляемым моделям.

Пластичные смеси занимают промежуточное положение между сыпучими и жидкими. Они обладают хорошей формуемостью под действием внешней нагрузки при уплотнении.

Для придания пластичности в такие смеси вводят воду, жидкие и набухающие связующие материалы и специальные добавки, которые образуют на поверхности зерен огнеупорного материала-наполнителя клейкие пленки. Последние, выполняя функции плоскостей скольжения, облегчают процесс уплотнения смесей. Кроме того, они связывают частицы смеси, что способствует повышению ее прочности.

6. По способу отверждения форм и стержней разделяют смеси *воздушного, теплового, горячего, химического твердения и самотвердеющие* смеси.

**Требования к формовочным и стержневым смесям.** На каждом этапе формовочная смесь должна удовлетворять многочисленным требованиям. Перед изготовлением формы или стержня смесь должна обладать следующими свойствами:

- достаточной текучестью для осуществления принятого метода изготовления форм;

- способностью сохранять текучесть в течение времени, заданного технологическим процессом;

- хорошей уплотняемостью, отвечающей производственным возможностям формовочного оборудования;

- хорошей пластичностью для обеспечения размерной точности форм;

- способностью не прилипать к поверхностям модели или стержневого ящика;

- низкой стоимостью и недефицитностью входящих в нее компонентов.

После изготовления формы или стержня смесь должна обладать следующими качествами:

- иметь достаточную исходную или сырую прочность для сохранения целостности формы или стержня при их изготовлении, транспортировке и сборке;

- при изготовлении отливок в сырых формах иметь сырую прочность, достаточную для обеспечения размерной и конфигурационной точности отливок;

- обладать поверхностной прочностью, обеспечивающей отсутствие поверхностных дефектов в отливках;

- иметь достаточную прочность после сушки или химического твердения при минимальном расходе связующего;

- обладать комплексом свойств, обеспечивающих непригораемость к отливкам или образованию легкоудаляемого пригарного слоя;

- быть негигроскопичной;

- быстро упрочняться в исходном состоянии или в процессе сушки.

При формировании отливки в форме и охлаждении до выбивки смесь должна удовлетворять следующим требованиям:

сохранять механические свойства в процессе прогрева на уровне, обеспечивающем прочность формы до тех пор, пока не образуется достаточно прочная корка сплава в поверхностном слое отливки. Время разупрочнения смеси при ее нагреве должно превышать время образования достаточно толстой корки затвердевшего металла;

не оказывать сопротивление усадке сплава в процессе затвердевания и охлаждения отливки;

иметь малую газотворность;

обладать высокой газопроницаемостью, обеспечивающей возможность организации направленного газового потока в стенке формы, исключая образование газовых дефектов в отливках;

в процессе охлаждения уменьшать свою прочность до значений, обеспечивающих минимальные энергозатраты на выбивку из форм и отливок;

иметь теплофизические свойства, обеспечивающие заданный тепловой режим затвердевания и охлаждения отдельных элементов отливки, гарантирующие ее направленное затвердевание и формирование заданной кристаллической структуры.

Необходимо также, чтобы смесь была нетоксичной на всех этапах технологического процесса и сохраняла способность к повторному применению в течение как можно большего числа технологических циклов после регенерации.

**Свойства смесей.** Для того чтобы получить отливку, свободную от дефектов, формовочные и стержневые смеси должны удовлетворять комплексу определенных свойств.

**Влажность** характеризует процентное содержание влаги в смесях. Величина влажности определяет значение многих других свойств смеси и оказывает прямое влияние на качество получаемых отливок. Например, при повышенной влажности смесей в отливках могут возникать газовые раковины.

Величину влажности ( $W$ , %) определяют по изменению массы в процессе сушки навески смеси при 105–110 °С до постоянной массы и подсчитывают по формуле

$$W = \frac{M - M_1}{M} \cdot 100 \%, \quad (4)$$

где  $M$ ,  $M_1$  – массы смеси до и после сушки, кг.

Схема прибора для ускоренного метода определения влажности (при 110–120 °С) приведена на [рис. 15](#).

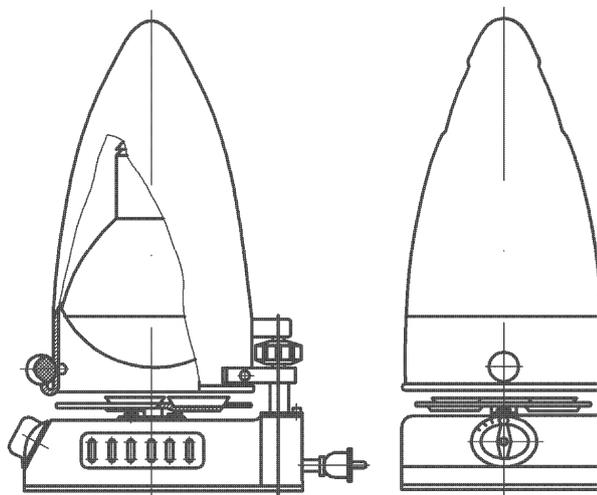


Рис. 15. Схема прибора для ускоренного определения влажности модели 062М

В основании прибора размещены все основные механизмы. Реле времени служит для установки необходимого времени сушки образцов, а также для включения и отключения прибора. На столе прибора устанавливаются чашки с испытуемым материалом. Инфракрасная лампа, предназначенная для передачи тепла на испытуемые образцы, закреплена в кожухе. Методика определения прибором влажности заключается в следующем. Чашки с навесками испытуемого материала помещаются под лампу и высушиваются до постоянной массы. Влажность вычисляют по [формуле \(4\)](#).

**Пористость** характеризуется отношением объема пустот (пор) к общему объему смеси и выражается в процентах.

**Газопроницаемость** является одним из важнейших свойств смеси и характеризует ее способность пропускать газы.

Для определения газопроницаемости используется прибор модели 042М, показанный на [рис. 16](#). Основание прибора – это станина с крепящимся на ней баком, внутри которого расположен колокол. Воздушное пространство под колоколом сообщается с пространством под образцом и атмосферой через кран, к которому подсоединена трубка бака.

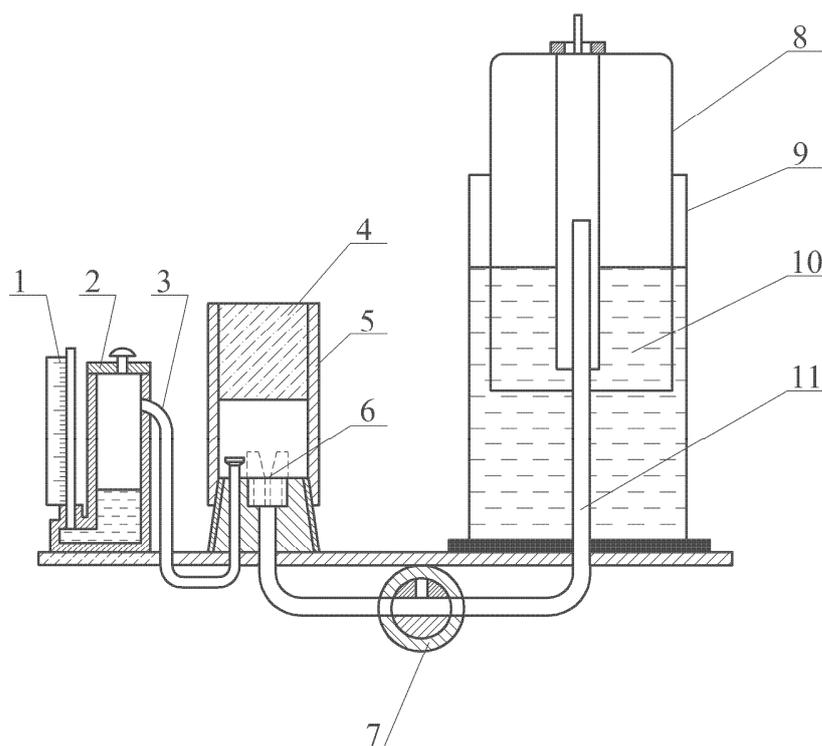


Рис. 16. Схема прибора модели 042 для определения газопроницаемости: 1 – манометр; 2 – резервуар; 3 – трубка; 4 – образец смеси; 5 – гильза; 6 – ниппель; 7 – трехходовой кран; 8 – калиброванный колпак (колокол); 9 – бак; 10 – трубка колпака; 11 – трубка бака

При установке крана в положение «Закрыто» воздушное пространство под колоколом с атмосферой не сообщается, в положение «Испытание» – сообщается с пространством под образцом, в положение «Открыто» – с атмосферой.

Гильза с заформованным образцом надевается на резиновую пробку затвора. Под колоколом возникает (благодаря весу колокола и груза на нем) давление воздуха, замеряемое водяным манометром.

Определение газопроницаемости можно производить нормальным или ускоренным методом. Испытанию подвергаются три образца, изготовленные из материала одной и той же пробы.

*Нормальный метод.* Поставить кран в положение «Открыто», плавно поднять колокол до отметки «X» и поставить кран в положение «Закрыто». Надеть на пробку затвора гильзу с заформованным образцом. Поставить кран в положение «Испытание» и в момент прохождения колоколом отметки «0» пустить в ход секундомер. В момент прохождения колоколом отметки «1000» зафиксировать показания манометра. В момент прохождения колоколом отметки «2000» остановить секундомер. Определение газопроницаемости осуществляется по формуле

$$K = \frac{509,5}{p \cdot \tau}, \quad (5)$$

где  $K$  – газопроницаемость;  $p$  – давление по манометру прохождения колоколом отметки «1000», см вод. ст.;  $\tau$  – время опускания колокола в момент прохождения отметки «2000», с.

**Ускоренный метод.** При ускоренном методе определения газопроницаемости в гнездо затвора ввертывается ниппель с отверстием 0,5 или 1,5 мм или дроссельный клапан на два положения (0,5 и 1,5), ввернутый в затвор. Дополнительное сопротивление с отверстием 1,5 мм применяется при испытании материалов с газопроницаемостью более 49 ед. с отверстием 0,5 мм – при испытании материалов с газопроницаемостью менее 49 ед. Для проведения испытаний плавно поднять колокол до отметки «0» и поставить кран в положение «Закрыто». Надеть гильзу с заформованным в ней образцом на пробку затвора.

Кран поставить в положение «Испытание» и при опускании колокола зафиксировать показания манометра. Газопроницаемость определяется по [табл. 17](#).

**Газотворность** характеризует способность смеси выделять газы при нагреве до высоких температур (при температуре 1250 °С).

**Твердость** характеризует способность поверхностного слоя формы или стержня противостоять проникновению более твердого тела (металлического шарика).

**Прочность** характеризует способность смеси сохранять заданную конфигурацию полости литейной формы в период ее изготовления и транспортирования, а также при заливке. Прочность смесей оценивают предельной величиной нагрузки, при которой разрушается уплотненный образец смеси. Различают прочность смесей во влажном, упрочненном, нагретом и прокаленном состояниях.

Таблица 17

Показания манометра		Диаметр калиброванного отверстия, мм		Показания манометра		Диаметр калиброванного отверстия, мм	
Па	см. вод. ст.	0,5	1,5	Па	см. вод. ст.	0,5	1,5
98,0	1,0	–	950	490,0	5,0	14,7	138
107,8	1,1	–	850	499,8	5,1	14,3	134
117,6	1,2	–	780	599,6	5,2	13,8	128
127,4	1,3	–	710	509,4	5,3	13,4	126
137,2	1,4	–	650	529,2	5,4	13,0	122
147,0	1,5	–	610	539,0	5,5	12,6	119
156,8	1,6	–	550	548,8	5,6	12,2	115
166,6	1,1	–	525	558,6	5,7	11,8	112
176,4	1,8	–	492	568,4	5,8	11,4	108
186,2	1,9	–	467	578,2	5,9	11,0	105
196,0	2,0	49,0	440	588,0	6,0	10,7	102
205,8	2,1	47,0	417	597,8	6,1	10,3	99
215,6	2,2	44,0	398	667,6	6,2	10,0	96
225,4	2,3	42,0	373	617,4	6,3	9,7	93

Продолжение табл. 17

235,2	2,4	40,0	358	627,2	6,4	9,4	90
245,0	2,5	38,0	341	636,0	6,5	9,0	88
254,8	2,6	36,0	326	646,8	6,6	8,8	85
264,6	2,7	34,0	313	656,6	6,7	8,5	82
274,4	2,8	33,0	300	666,4	6,8	8,2	80
284,2	2,9	31,0	287	676,2	6,9	7,9	77
294,0	3,0	30,0	275	686,0	7,0	7,7	75
303,8	3,1	29,0	264	695,8	7,1	7,5	73
313,6	3,2	28,0	253	705,6	7,2	7,3	70
323,4	3,3	27,0	243	715,4	7,3	7,0	67
333,2	3,4	25,8	235	725,2	7,4	6,1	65
343,0	3,5	24,2	226	735,0	7,5	6,5	63
352,8	3,6	23,4	219	744,8	7,6	6,3	61
362,6	3,7	22,7	212	754,6	7,7	6,0	59
372,4	3,8	21,8	205	764,4	7,8	5,8	56
382,2	3,9	21,0	198	774,2	7,9	5,6	54
392,0	4,0	20,0	196	784,0	8,0	5,3	52
401,8	4,1	19,5	185	793,8	8,1	5,1	50
411,6	4,2	19,0	178	303,6	8,2	4,9	–
421,4	4,3	18,5	173	813,4	8,3	4,7	–
431,2	4,4	17,8	167	823,2	8,4	4,4	–
441,0	4,5	17,3	164	843,8	8,6	4,0	–
450,8	4,6	16,7	156	852,6	8,7	3,7	–
460,6	4,1	16,2	151	862,4	8,8	3,5	–
470,4	4,8	15,7	146	872,2	8,9	3,3	–
480,2	4,9	15,2	142	882,0	9,0	3,1	–

Наиболее часто прочность смеси во влажном состоянии ([рис. 17](#)) оценивается при сжатии ([рис. 17, а](#)), реже при срезе ([рис. 17, б](#)), изгибе ([рис. 17, в](#)) и растяжения ([рис. 17, г](#)).

Прочность смеси в упрочненном состоянии, т.е. прочность, которую приобретает образец смеси после тепловой сушки или химического отверждения, зависит от типа и количества связующих материалов, содержащихся в смеси, зернового состава формовочного песка, режимов упрочнения и т.д.

Прочность смесей в прокаленном состоянии характеризуется в основном способностью стержня, изготовленного из данной смеси, удаляться из полости отливки при ее извлечении из формы и очистке и зависит главным образом от природы связующего материала смеси и его количества, от интенсивности теплового воздействия сплава отливки на стержень и других факторов.

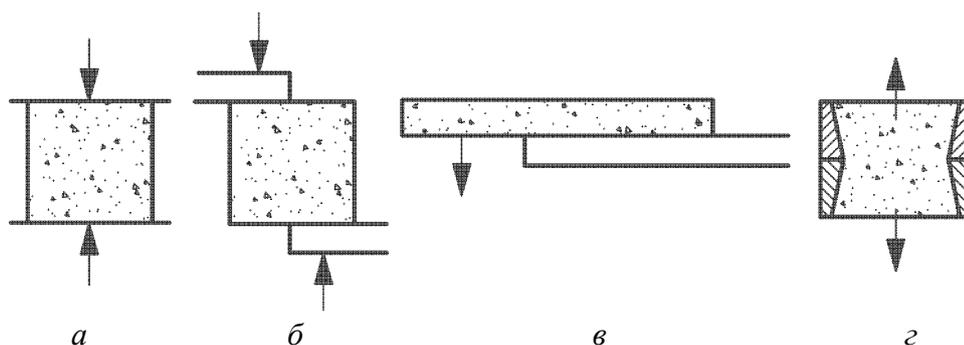


Рис. 17. Схема методов оценки прочности смесей во влажном состоянии: а – при сжатии; б – при срезе; в – при изгибе; г – при растяжении

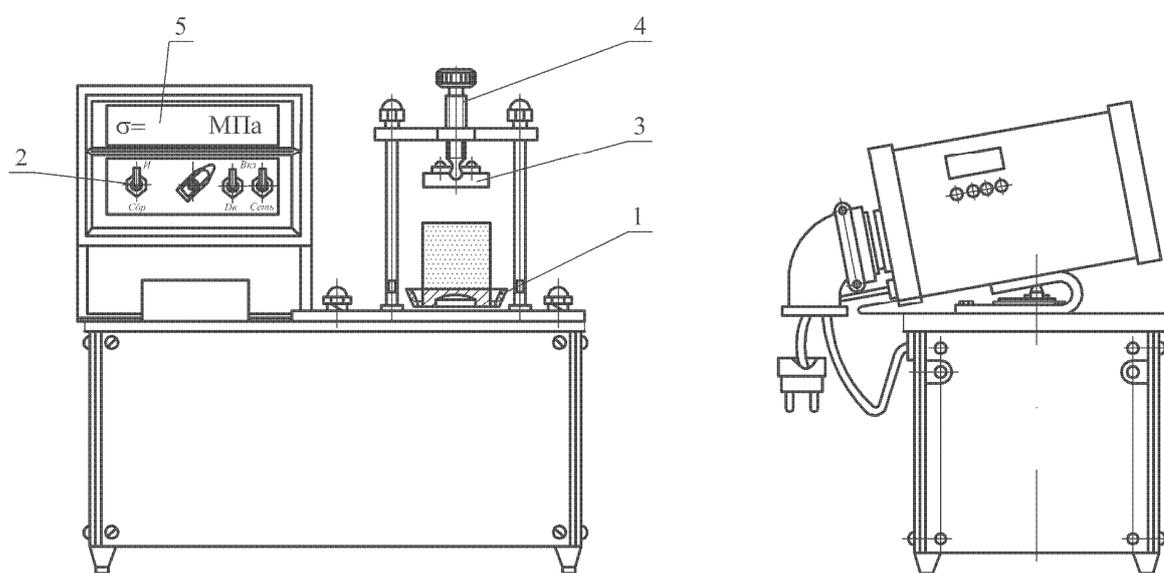


Рис. 18. Общий вид испытательной машины для определения прочности формовочных и стержневых смесей

Для определения прочности на сжатие используется прибор модели 5071А (рис. 18).

Испытываемый образец устанавливают на тарелку 1, опускают с помощью упора 4 прижимной диск 3 до верхней поверхности образца и включают тумблер 2. В момент разрушения образца на табло 5 высвечивается значение прочности смеси. Испытание проводят на трех образцах, значение предела прочности принимают как среднее арифметическое значение трех определений. Если погрешность составляет более 10 %, то испытание повторяют на вновь приготовленной смеси.

**Поверхностная прочность (осыпаемость)** представляет собой сопротивление поверхностного слоя формы или стержня истирающим усилиям.

**Уплотняемость** – это способность смеси уменьшать свой первоначальный объем под воздействием внешних сил.

**Текучесть** – это способность смеси под воздействием внешних сил заполнять труднодоступные полости в модельной оснастке, обеспечивая равномерное уплотнение формы или стержня.

**Прилипаемость** – это способность смеси во влажном состоянии прилипать к поверхности модельной оснастки или транспортных средств (ленточных конвейеров).

**Гигроскопичность** характеризует способность формы или стержня впитывать влагу из окружающей среды.

**Живучесть** характеризует продолжительность сохранения смесью своих физико-механических свойств.

**Податливость** – это способность формы или стержня деформироваться под воздействием усадки отливок.

**Огнеупорность** характеризует способность смеси не оплавляться под действием высоких температур.

**Пригораемость** – это способность поверхностного слоя формы или стержня противостоять прочному сцеплению с металлом отливки.

**Выбиваемость** характеризуется способностью стержней удаляться из внутренних полостей при выбивке и очистке отливок.

**Долговечность** характеризует способность смеси, после соответствующей подготовки, повторно использоваться для изготовления форм без введения добавок свежих формовочных материалов.

**Химическая инертность** по отношению к сплаву – это способность смеси не вступать в химическое взаимодействие с компонентами сплава или окислами этих компонентов.

**Приготовление смеси.** Для приготовления смеси используют бегуны с вертикальными катками, схема которых показана на [рис. 19](#).

Внутри неподвижной чаши расположен вертикальный вал, который от электромотора через редуктор получает вращательное движение. На валу шарнирно укреплены два вертикальных катка. При вращении вала катки движутся по окружностям, а под влиянием трения о формовочную смесь они получают также вращательное движение. Для предупреждения дробления зерен песка в процессе перемешивания смеси между катками и дном чаши предусмотрен небольшой зазор. При вращении вертикального вала под воздействием специальных плужков, укрепленных на горизонтальных осях, формовочная смесь подгребается под катки. Выдача готовой смеси из бегунов осуществляется через люк, расположенный в дне чаши.

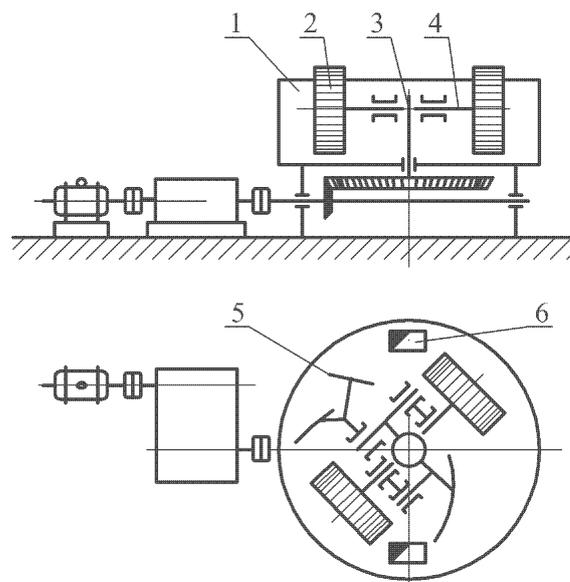


Рис. 19. Бегуны с вертикальными катками: 1 – неподвижная чаша, 2 – катки, 3 – вертикальный вал, 4 – ось, 5 – плужки, 6 – люк

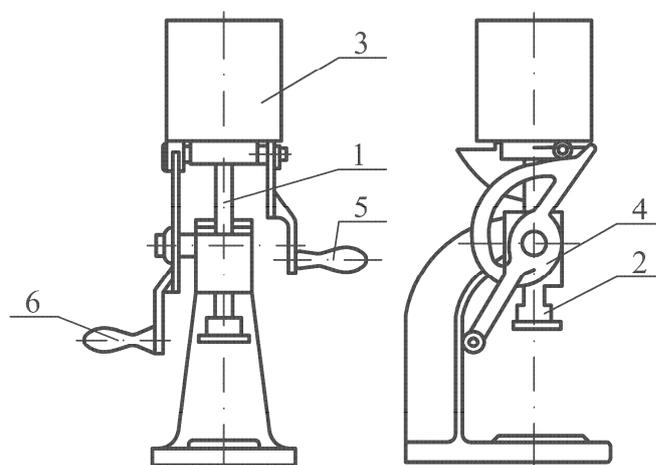


Рис. 20. Лабораторный копер

**Приготовление образцов.** Смесь выгружают из бегунов и приступают к изготовлению стандартных образцов на лабораторном копере (рис. 20).

Металлическую гильзу устанавливают в поддон и в нее высыпают отмеренное количество (примерно 170 г) формовочной смеси, при этом следят за тем, чтобы поверхность насыпаемого слоя смеси была горизонтальной. Подъемником копра поднимают шток 1 и груз 3, на станину устанавливают поддон с гильзой, осторожно и плавно опускают боек 2, закрепленный на штоке 1, в гильзу до соприкосновения со смесью. После этого вращением рукоятки 5 и эксцентрика 4 уплотняют смесь тремя ударами груза 3 массой  $6,35 \pm 0,015$  кг, падающего с высоты  $50 \pm 0,25$  мм. Высота образца в гильзе после уплотнения должна быть  $50 \pm 0,8$  мм. Эту высоту контролируют по трем горизонтальным рискам, нанесенным через 0,8 мм на стойке станины. Совпадение верхнего торца штока 1 со средней рисккой соответствует высоте образца 50 мм. Крайние риски указывают на допускаемые отклонения.

**Методика проведения работы**

1. Приготовить песчано-глинистую смесь в смесителе.
2. Определить влажность смеси, предел прочности во влажном состоянии, газопроницаемость.

**Контрольные вопросы и задания**

1. Расскажите о классификации смесей.
2. Сформулируйте основные требования к формовочным и стержневым смесям.
3. Перечислите основные свойства смесей. Дайте их характеристику.
4. Расскажите методику определения влажности смесей.
5. Расскажите методику определения газопроницаемости смесей.
6. Расскажите методику определения прочности смесей.
7. Какие виды прочности вы знаете?
8. Расскажите методику изготовления образцов для исследования свойств смесей.
9. Расскажите методику приготовления смесей.
10. Какое оборудование используется для приготовления смесей, укажите его устройство?

## Лабораторная работа 4 Получение отливок в разовых формах

### Краткие теоретические сведения

В литейном производстве роль основного инструмента для изготовления отливок выполняет литейная форма. Она представляет собой систему элементов, образующих рабочую полость, при заливке которой расплавленным металлом формируется отливка.

Набор элементов технологической оснастки, необходимый для образования при формовке рабочей полости литейной формы, соответствующей конфигурации и размерам отливки, называют *модельным комплектом*. В состав модельного комплекта входят модели, подмодельные и модельные плиты, модели элементов литниковой системы. По конструкции, обусловливаемой удобством формовки, модели бывают неразъемные и разъемные (рис. 21). Неразъемные модели применяют при получении отливок, преимущественно заформовываемых в одной половине формы. Разъемные модели широко используют при производстве отливок более сложной и разнообразной конфигурации, когда модель формируется в двух опоках.



Рис. 21. Общий вид моделей: а – неразъемная; б – разъемная

Совокупность каналов и элементов литейной формы, служащих для подвода расплавленного металла в рабочую полость формы и обеспечения благоприятных условий ее заполнения, а также питания отливки при затвердевании, называют *литниковой системой* (рис. 22). Наиболее часто литниковая система включает следующие элементы: литниковая чаша, или воронка, стояк, зумпф, шлакоуловитель, питатели, выпор.

Опоки, штыри и подопочные плиты относят к *опочной оснастке* (рис. 23).

Для формирования в отливках внутренних полостей и отверстий применяют *стержни* (рис. 24). Стержни изготавливают в разъемном стержневом ящике, состоящем из двух половин, которые соединяются по втулкам.

При заливке стержни обычно со всех сторон окружены расплавом, поэтому они должны обладать высокой газопроницаемостью, прочностью, податливостью, выбиваемостью, что обеспечивается выбором соответствующей стержневой смеси и конструкцией стержня.

Смеси, из которых изготавливается форма, называют *формовочными*, а смеси, предназначенные для изготовления стержней, – *стержневыми*. Формовочные и стержневые смеси представляют собой предварительно подготовленные, взятые в определенной пропорции, равномерно перемешанные между собой исходные формовочные материалы (песок, глина, вода).

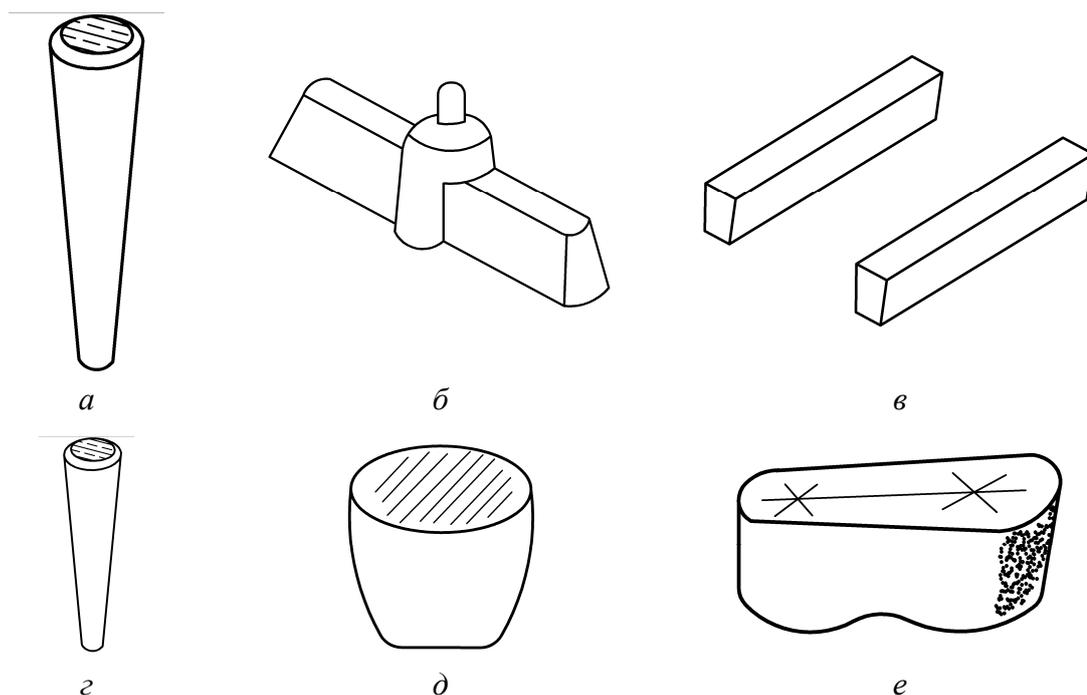


Рис. 22. Элементы литниковой системы: стояк (а); шлакоуловитель (б); питатель (в); выпор (г); литниковая воронка (д); литниковая чаша (е)

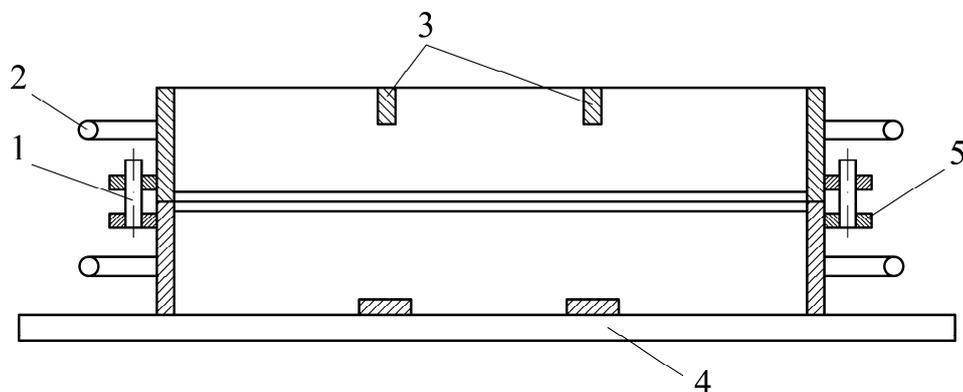


Рис. 23. Опочная оснастка: 1 – штыри, 2 – ручки, 3 – ребра, 4 – подопочная плита, 5 – ушки



Рис. 24. Общий вид стержневого ящика со стержнем

Для изготовления форм и стержней используются следующие основные **инструменты** (рис. 25):

ручная трамбовка (для уплотнения смеси в опоке) (рис. 25, а);

линейка (для срезания излишков смеси) (рис. 25, б);

гладилка (для заглаживания и отделки поверхности формы) (рис. 25, в);

ланцет (для отделки поверхности формы) (рис. 25, г);

крючок (для вытаскивания моделей) (рис. 25, д);

игла для накалывания вентиляционных каналов (рис. 25, е)

груша (для продувки внутренней полости формы).

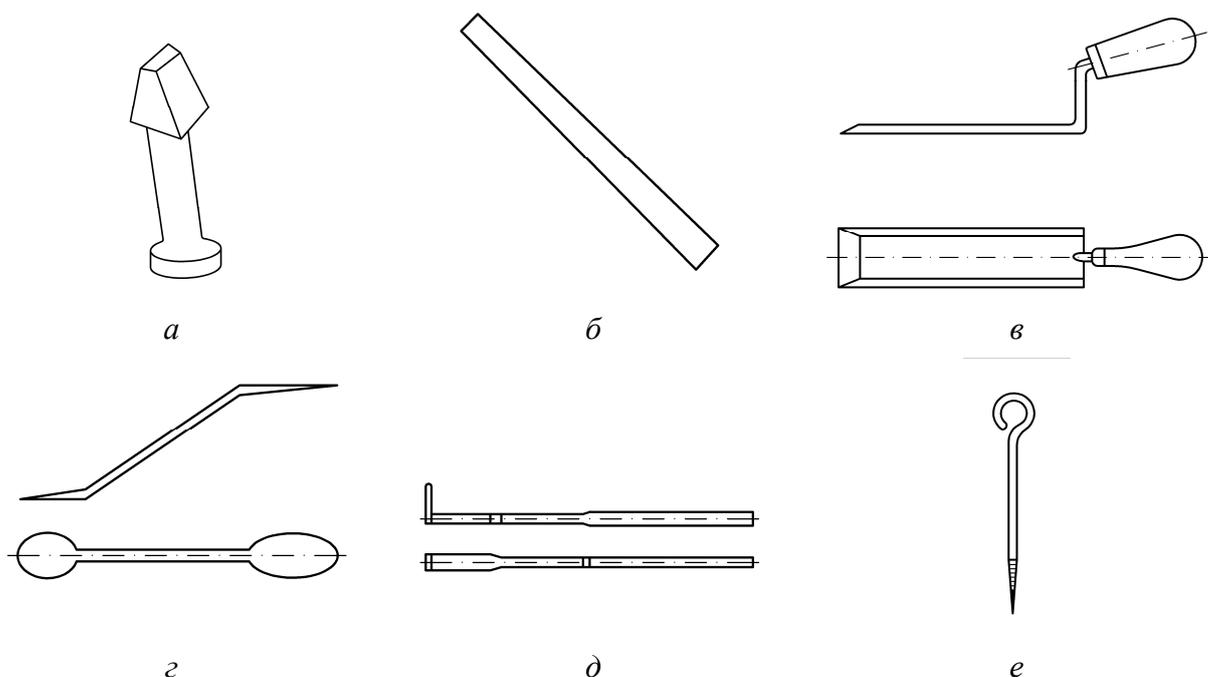


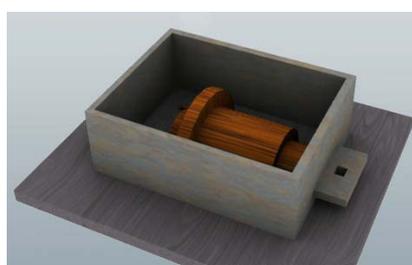
Рис. 25. Формовочный инструмент

**Формовка по разъемной модели.** Изготовление литейной формы по разъемной модели в двух опоках начинается с изготовления нижней половины формы и производится в последовательности, представленной на рис. 26.

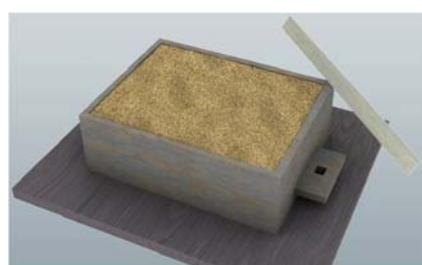
**Операция 1.** Нижнюю половину модели, не имеющую центрирующих шипов, и питатели укладывают плоскостью разреза вниз на подмодельную доску, посыпают припылом (например, тальком). Накрывают нижней опокой, чтобы размещенная в ней модель находилась на достаточном расстоянии от стенок опоки (рис. 26, а).

**Операция 2.** Через сито просеивают песчано-глинистую смесь и заполняют ею опоку.

**Операция 3.** Смесь вокруг модели слегка обжимают руками и уплотняют острым концом трамбовки сначала у стенок, а затем в средней части опоки. Добавляют смесь и снова ее уплотняют до тех пор, пока опока не будет полной. Верхний слой смеси в опоке уплотняют плоским концом трамбовки.



а



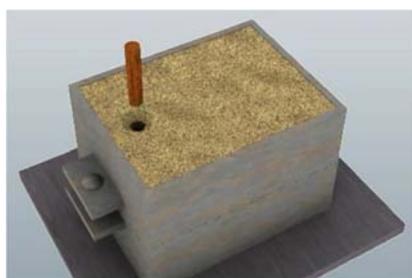
б



в



г



д



е

Рис. 26. Технология изготовления отливки по разъемной модели

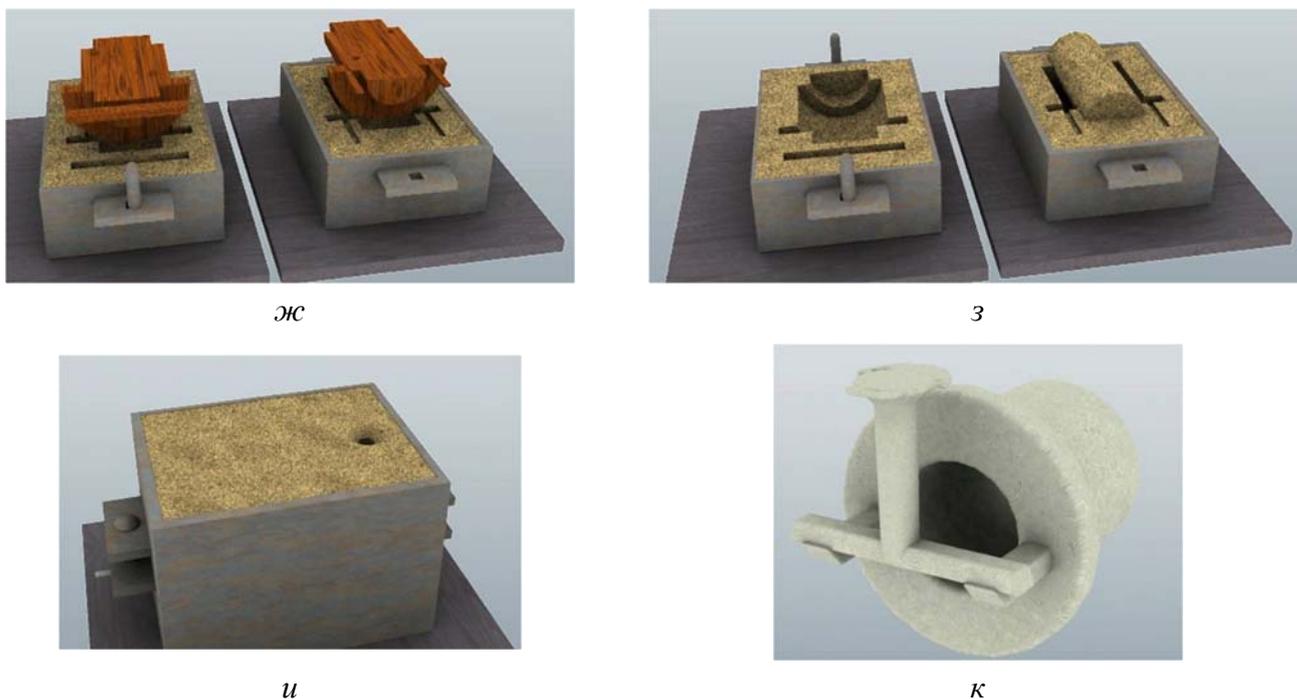


Рис. 26. Технология изготовления отливки по разъемной модели

*Операция 4.* Излишки формовочной смеси срезают линейкой заподлицо с верхней кромкой нижней опоки ([рис. 26, б](#)).

*Операция 5.* Иглой накалывают вентиляционные каналы.

*Операция 6.* Заформованную опоку переворачивают на  $180^\circ$  разъемом вверх.

*Операция 7.* На нижнюю половину опоки по штырям устанавливают верхнюю опоку.

*Операция 8.* По центрирующим шипам на нижнюю половину модели устанавливают верхнюю половину.

*Операция 9.* В соответствии с разработанной технологией размещают модели элементы литниковой системы (шлакоуловителя, литниковой воронки) ([рис. 26, в](#)).

*Операция 10.* Поверхность модели и шлакоуловителя посыпают припылом, а поверхность разъема формы – разделительным сухим песком.

*Операция 11.* Просеивают формовочную смесь, обжимают ее руками вокруг модели, шлакоуловителя, стояка и выпора.

*Операция 12.* Засыпают верхнюю опоку с избытком смесью.

*Операция 13.* Уплотняют формовочную смесь трамбовкой сначала острым концом, затем плоским ([рис. 26, г](#)).

*Операция 14.* Излишек смеси срезают металлической линейкой заподлицо с верхней опокой.

*Операция 15.* Иглой накалывают вентиляционные каналы.

*Операция 16.* Удаляют из формы модель стояка ([рис. 26, д](#)).

*Операция 17.* При помощи ланцета прорезают литниковую воронку ([рис. 26, е](#)).

*Операция 19.* Верхнюю опоку снимают, переворачивают на 180° и устанавливают на подмодельную плиту разъемом вверх.

*Операция 20.* Из обеих полуформ извлекают половинки модели отливки ([рис. 26, ж](#)).

*Операция 21.* Обе половины формы внимательно осматривают.

*Операция 22.* Обе полуформы продувают при помощи груши.

*Операция 23.* В нижнюю полуформу устанавливают заранее изготовленный в стержневом ящике стержень ([рис. 26, з](#)).

*Операция 24.* Нижнюю половину формы накрывают верхней половиной. Для предотвращения смещения полуформ относительно друг друга их спаривают с помощью штырей. Форма готова ([рис. 26, и](#)).

*Операция 25.* Готовую форму заливают расплавом.

Готовая отливка показана на [рис. 26, к](#).

**Формовка по неразъемной модели.** Технология изготовления отливки по неразъемной модели представлена [на рис. 27](#).

*Операция 1.* Модель устанавливают на подмодельную плиту.

*Операция 2.* Устанавливают нижнюю опоку разъемом вниз так, чтобы расстояние между моделью и стенками опоки было одинаковым, предусматривая при этом место для расположения литниковой системы.

*Операция 3.* Модель посыпают припылом (например, тальком), чтобы обеспечить легкое извлечение ее после формовки.

*Операция 4.* Опoку заполняют формовочной смесью, разрыхленной и просеянной через сито.

*Операция 5.* Смесью уплотняют острым концом трамбовки так, чтобы плотность смеси у стенок и в середине формы была равномерной ([рис. 27, а](#)).

*Операция 6.* Опoку наполняют смесью до тех пор, пока вся она не будет заполнена формовочной смесью. После этого уплотнение ведут плоским концом трамбовки ([рис. 27, б](#)). Необходимо помнить, что очень плотная набивка уменьшает газопроницаемость формы и уменьшает ее податливость, что может привести к образованию трещин в отливке. Слабая набивка формы может вызвать ее разрушение при заливке металла.

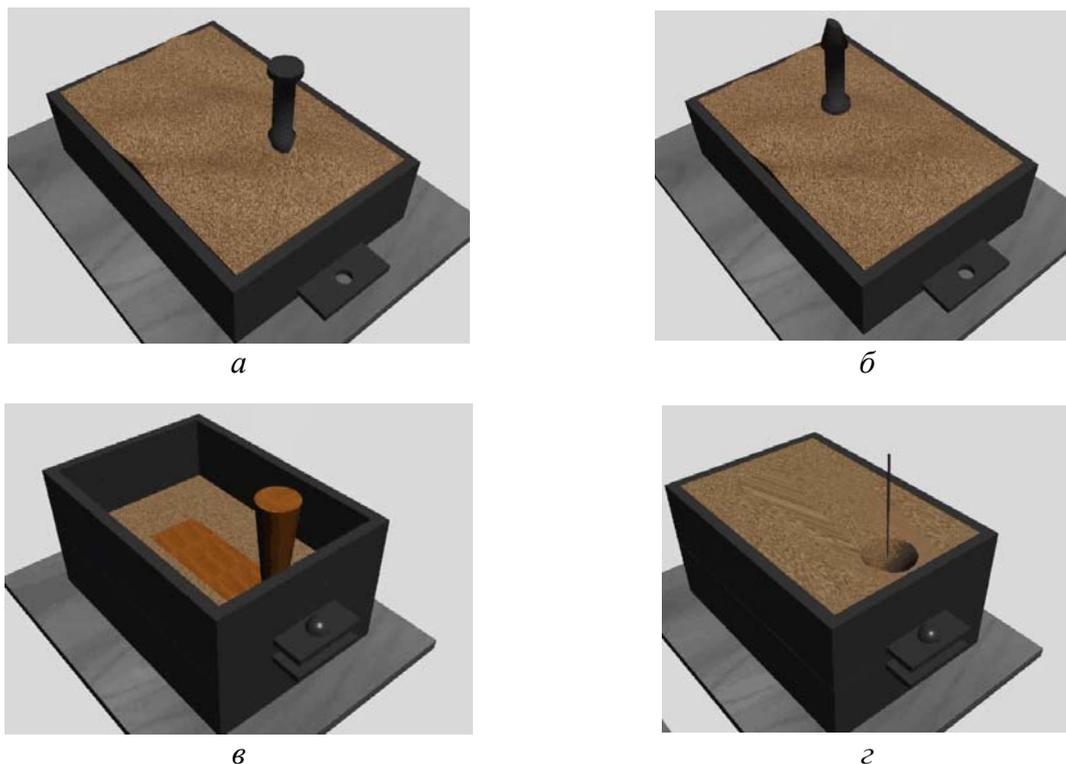


Рис. 27. Технология получения отливки по неразъемной модели

*Операция 7.* Излишек смеси после уплотнения срезают линейкой вровень с краями опоки.

*Операция 8.* Заформованную нижнюю опоку переворачивают на 180°.

*Операция 9.* Поверхность разъема формы посыпают тонким слоем разделительного песка для предотвращения слипания нижней и верхней опоки.

*Операция 10.* По центрирующим штырям 8 устанавливают верхнюю опоку 9 и модели элементов литниковой системы (шлакоуловителя и стояка) (рис. 27, в).

*Операция 11.* Поверхность модели посыпают припылом.

*Операция 12.* Наносят слой формовочной смеси и повторяют стадии 5–7.

*Операция 14.* Аккуратно расталкивают и извлекают модели элементов литниковой системы (стояка), подрезают воронку (рис. 27, г).

*Операция 15.* Снимают верхнюю полуформу, переворачивают ее на 180°, осматривают.

*Операция 16.* Раскачивают и аккуратно извлекают модель из нижней полуформы с помощью крючка с заостренным или винтовым концом.

*Операция 17.* Осматривают нижнюю полуформу, отделяют и продувают ее при помощи груши.

*Операция 18.* Полуформы собирают и крепят.

*Операция 19.* Собранную форму относят на участок заливки.

*Операция 20.* На поверхность формы устанавливают груз.

*Операция 21.* Форму заливают расплавом.

### **Методика проведения работы**

1. Получить разъемную и неразъемную модели, модель стояка, опоки, формовочный инструмент.
2. Подготовить рабочее место.
3. Изготовить формы по неразъемной и разъемной моделям.
4. Залить формы расплавом (силумином) при температуре 720–750 °С
5. Охладить формы.
6. Выбить отливки из формы, очистить их поверхность от смеси.
7. Произвести осмотр полученных отливок и сделать выводы об их качестве.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Что такое модельный комплект?
2. Какие виды моделей бывают?
3. Что относится к формовочному инструменту?
4. Укажите назначение литниковой системой.
5. Перечислите основные элементы литниковой системы.
6. Какие смеси называют формовочными?
7. Укажите последовательность операций при изготовлении формы по неразъемной модели.
8. Укажите последовательность операций при изготовлении форм по разъемной модели.
9. Для чего используют стержень?
10. Что относится к опочной оснастке?

## Лабораторная работа 5

### Литье в кокиль

#### Краткие теоретические сведения

Сущность литья в кокиль состоит в применении металлических многократно используемых литейных форм (кокилей), которые заполняют расплавом под действием гравитационных сил, т.е. без приложения давления.

Экономически целесообразно применять этот способ литья только в серийном или массовом производстве. В кокиль заливаются все типы сплавов, но количество съёмов годных отливок с одной формы для разных сплавов неодинаково (табл. 18).

Таблица 18

Сплавы	Температура заливки, °С	Количество съёмов с кокиля
Сталь	1580–1630	100–150
Чугун	1350–1450	1000–1500
Бронза	1100–1150	10000–15000
Алюминиевые сплавы	720–750	100000–150000
Свинцово-цинковые сплавы	330–350	1000000–1500000

Основные элементы кокиля обычно изготавливают из чугуна или стали. Те части кокиля, которые в наибольшей степени подвергнуты воздействию металла, рекомендуется выполнять съёмными.

Полости в отливке могут быть выполнены металлическими или песчаными стержнями, извлекаемыми из отливки после ее затвердевания и охлаждения до заданной температуры. Кокиля с песчаными стержнями применяют преимущественно для чугунных и стальных отливок, с металлическими стержнями – для отливок из цветных легких сплавов.

**Устройство кокиля.** Кокиль (рис. 28) состоит из двух полуформ 1, плиты 2, замков 3, ручек 4. Полуформы взаимно центрируются штырями 5, и перед заливкой их соединяют замками 3. Размеры рабочей полости 9 кокиля больше размеров отливок на величину усадки сплава

В полуформах кокиля расположены литниковая система 7, прибыль 8, центрирующие штыри 6. Расплав поступает и заполняет рабочую полость кокиля по литниковой системе 7. Питание отливки осуществляется из прибыли 8.

**Стойкость кокиля зависит от трех основных факторов:** материала отливки и температуры заливки сплава; от материала кокиля; от конструкции кокиля.

**Окрашивание кокиля.** Для увеличения стойкости кокиля, т.е. для

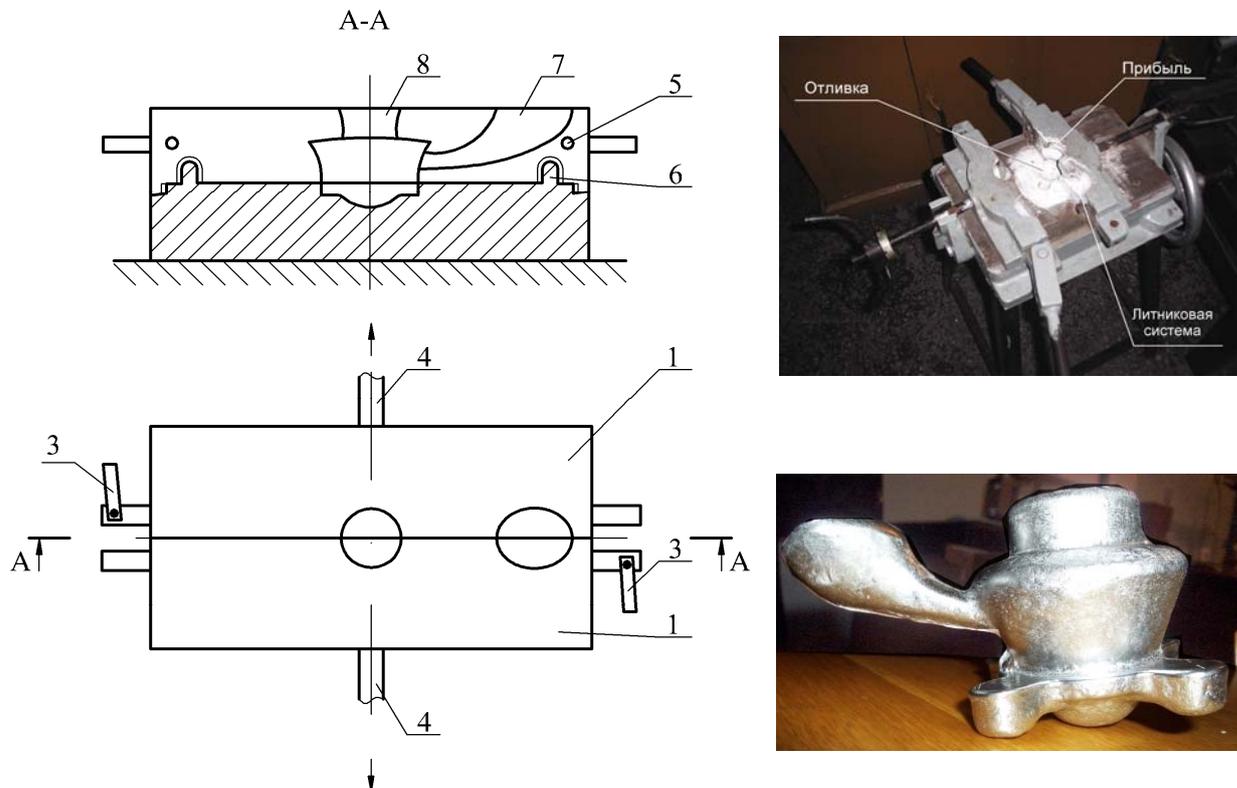


Рис. 28. Кокиль

предохранения его от термического удара и эрозионного воздействия во время заливки расплава, для управления условиями кристаллизации отливки, для создания в форме определенной газовой атмосферы и обеспечения в некоторых случаях поверхностного легирования и модифицирования отливки, производят окрашивание или облицовку кокилей огнеупорными покрытиями. Однако главное назначение покрытий – это управление теплообменом между отливкой и кокилем.

Покрытия можно подразделить па три группы – разовые, многоразовые и постоянные.

К **постоянным** относятся покрытия, долговечность которых соизмерима со сроком использования кокиля. Это покрытия, напыленные пламенным или плазменным способами, полученные методами электрохимической или химико-термической обработки.

К **многоразовым** покрытиям можно отнести футеровку кокиля формовочной смесью на основе жидкого стекла.

**Разовые** покрытия представляют собой суспензию огнеупорного материала в воде или в связующем. Разовые покрытия наносятся на поверхность нагретого кокиля. При этом вода испаряется, а огнеупорный материал остается на поверхности кокиля.

Наиболее часто используют многоразовые покрытия с разовой краской.

В общем случае покрытие должно быть инертно к металлу отливки. Исключением являются покрытия, используемые для поверхностного модифицирования и легирования. Например, применение поверхностно-модифицирующих составов (углеродистых, FeSi) предупреждает отбеливаемость чугунных отливок.

Состав покрытий зависит от заливаемого сплава, а его толщина – от требуемой скорости охлаждения отливки: чем больше толщина слоя покрытия, тем медленнее охлаждается отливка. Покрытия содержат огнеупорную основу (материал), связующее, активизаторы, стабилизаторы, модифицирующие и легирующие вещества.

Огнеупорной основой служат мелкодисперсные материалы – кварц, шамот, оксиды и карбиды металлов (например, MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), графит, тальк и другие. Чем выше температура заливаемого сплава, тем большей огнеупорности выбирается наполнительный материал.

Связующим для покрытий обычно являются жидкое стекло или огнеупорная глина.

Активизаторы (например, бура или борная кислота) используют для улучшения сцепления покрытия с металлом кокиля.

Стабилизаторы применяют для улучшения определенных свойств покрытий. Такими веществами обычно являются поверхностно-активные вещества (ПАВ).

**Тепловой режим кокиля.** При заливке горячего расплава металл кокиля резко нагревается. В результате возникает так называемый термический удар, вызывающий деформации, которые приводят к значительным напряжениям в металле кокиля и выходу кокиля из строя. Поэтому очень важно соблюдать тепловой режим кокиля, позволяющий получать отливки высокого качества и заключающийся в правильном подборе температуры подогрева и охлаждения кокиля. Температура нагрева кокиля зависит от рода расплава, от материала кокиля, от геометрии отливок и ряда других факторов и в среднем составляет 200–250 °С. Например, при отливке в чугунный кокиль его температура нагрева составляет: для медных сплавов – 120–200 °С, для стали – 150–250 °С. Верхние пределы нагрева предусмотрены для литья тонкостенных отливок.

Кокиль обычно нагревают с помощью газовых горелок, размещаемых между половин раскрытого кокиля. Реже используют электроподогреватели. Крупные кокиля иногда нагревают в специальных нагревательных печах-колодцах.

Существуют многочисленные способы охлаждения кокилей:

- ребристая внешняя поверхность (охлаждающие ребра-холодильники; ребристая поверхность охлаждает кокиль на 25–30 % эффективнее, чем гладкая);
- воздушное охлаждение сжатым воздухом;
- охлаждение водой;

охлаждение стержней их периодическим замачиванием в воде.

Наиболее эффективно охлаждение водой, однако это требует некоторого усложнения кокиля.

Нагрев кокиля также полезен и для заливаемого металла. При соприкосновении с холодным кокилем расплав быстро теряет жидкотекучесть и получается недолив тонкостенных отливок.

Чрезмерный нагрев кокиля вреден, так как увеличивается химико-термическое взаимодействие с материалом кокиля (пригар, разгар), уменьшается производительность из-за увеличения времени охлаждения отливки, появляются усадочные дефекты в массивных частях отливки и теряется одно из преимуществ кокильного литья – получение мелкокристаллической структуры в результате ускоренной кристаллизации.

Эффективным воздействием на тепловой режим кокиля является создание между кокилем и расплавом определенного термического сопротивления с помощью наносимых на поверхность полости кокиля облицовок и красок.

**Подготовка кокиля.** Кокиль перед заливкой металла подогревают до заданной температуры и наносят защитное покрытие. В полость кокиля устанавливают песчаные стержни, и кокиль собирают, затем заливают расплавленный металл. После затвердевания кокиль раскрывают, извлекают отливку и отделяют от нее литниковую систему. Как правило, кокильные отливки проходят термическую обработку для снятия внутренних напряжений, возникающих из-за неподатливости металлической формы и для исправления микроструктуры. Завершающей операцией является окрашивание отливки.

Требования к отливкам, предназначенным для литья в кокиль, представляют собой следующее:

наиболее простую внешнюю форму без резких углов, поворотов, выступов;

наличие соответствующих уклонов для обеспечения удаления отливки; минимальное количество стержней, отъемных частей;

отсутствие резких переходов от тонких сечений к толстым. Резкие переходы сечений приводят к образованию усадочных дефектов и к бурному заполнению полости формы.

К особенностям процесса относятся быстрый теплоотвод, отсутствие газопроницаемости кокиля, неподатливость кокиля.

К преимуществам литья в кокиль можно отнести:

повышение производительности труда в результате исключения трудоемких операций смесеприготовления, формовки, очистки отливок от пригара;

повышение качества отливки, обусловленное использованием металлической формы;

улучшение свойств отливки (плотности, шероховатости, механических свойств, точности размеров отливки);

устранение тяжелых и вредных операций выбивки форм, очистки отливок от пригара, их обрубки, меньшего загрязнения окружающей среды; механизацию и автоматизацию процесса изготовления отливки, обусловленные многократностью использования кокиля.

К недостаткам литья в кокиль относятся:

высокая стоимость кокиля, сложность и трудоемкость его изготовления; ограниченная стойкость кокиля, измеряемая числом годных отливок, которые можно получить в данном кокиле:

трудность получения отливок сложной конфигурации;

высокая интенсивность охлаждения расплава, что ограничивает возможность получения тонкостенных протяженных отливок;

неподатливость кокиля, что может приводить к появлению в отливках напряжений.

### **Методика выполнения работы**

1. Изучить устройство кокиля. Особое внимание обратить на механизм разъема формы, принцип действия выталкивателей, устройство вентиляционных каналов.

2. Произвести разборку и сборку кокилей с целью установления правильности и надежности взаимодействия всех его частей.

3. Собранный кокиль залить расплавом (силумином) при температуре 720–750 °С и охладить.

4. Извлечь отливку из кокиля, соблюдая необходимую последовательность операций.

5. Оценить качество отливки.

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Какова сущность литья в кокиль?
2. Каков тепловой режим кокиля. Как он достигается?
3. Каковы требования к отливкам, изготавливаемым в кокиль?
4. Каковы достоинства метода литья в кокиль?
5. Каковы недостатки литья в кокиль?
6. Для чего используются покрытия?
7. Перечислите виды покрытий, используемые для окрашивания кокилей.
8. От каких факторов зависит стойкость кокиля?
9. Какие требования предъявляются к отливкам, получаемым методом литья в кокиль?
10. Перечислите основные особенности метода литья в кокиль.

## Лабораторная работа 6

### Литье в оболочковые формы

#### Краткие теоретические сведения

Литье в оболочковую форму – это литье металла, осуществляемое путем его свободной заливки в оболочковую форму.

Толщины стенок оболочковых форм соизмеримы с толщинами стенок отливок либо значительно меньше их; толщины стенок оболочковых форм в десятки раз меньше толщин стенок обычных разовых форм.

В оболочковых формах получают отливки практически из любых сплавов и любой конструкции.

Основными технологическими операциями при получении отливок методом литья в оболочковые формы являются:

1. Приготовление смеси
2. Изготовление оболочек.
3. Сборка (соединение) оболочек в формы.
4. Подготовка форм к заливке металлом.
5. Плавка и заливка металла в форму.
6. Охлаждение и кристаллизация отливки.
7. Выбивка и финишная обработка отливок.

**1. Приготовление смеси.** Для изготовления оболочковых форм используются песчано-смоляные смеси, в состав которых входят пески, смолы, технологические добавки.

**Наполнитель.** В составе песчано-смоляных смесей чаще всего применяют кварцевые пески по ГОСТ 2138-91. Форма, размер, химический состав и другие свойства песков оказывают существенное влияние на качество песчано-смоляных смесей и отливок. Например, мелкозернистые пески обеспечивают получение поверхностей небольшой шероховатости, но требуют большого расхода связующего; наличие вредных примесей на поверхности зерен песка снижает качество песка и обуславливает необходимость повышенного расхода связующего. Поэтому в смесях рекомендуется использовать пески с размером зерен 1-2 мм и минимальным содержанием вредных примесей.

**Связующее.** В качестве связующего преимущественно используют фенолформальдегидные смолы. При нагреве до температуры 60–70 °С смолы размягчаются; при температуре 110–130 °С переходят в клейкое жидкое состояние; при температуре 250–270 °С необратимо затвердевают, приобретая высокую механическую прочность. При нагреве свыше 450 °С оболочковые формы начинают разрушаться (гореть), что обеспечивает свободную усадку отливок и легкую выбивку их из форм.

*Технологическими добавками* являются отвердители, пластификаторы, смазки и специальные добавки. В качестве добавок, ускоряющих процесс твердения смолы, используют уротропин, борную кислоту. Для облегчения отделения оболочки от модельной плиты применяют силиконовую смазку, а для повышения текучести смеси и облегчения отделения оболочковых форм от модели – стеарат кальция. В качестве пластификатора применяют канифоль. К числу специальных добавок относят, например, окислы железа, предупреждающие науглероживание стальных отливок.

Процесс обволакивания зерен песка смолой называют **плакированием**. Плакирование бывает холодное и горячее.

В процессе **холодного** плакирования смолу растворяют в растворителе (технический спирт или ацетон) и смешивают с песком при 20 °С в бегунах. При перемешивании зерна песка обволакиваются пленкой раствора смолы. Смесь продувают воздухом, растворитель испаряется, и смесь постепенно высыхает.

Этот способ плакирования применяется редко из-за повышенной взрыво- и пожароопасности.

При **горячем** плакировании сухой песок предварительно нагревается до 110–130 °С, а затем смешивается со смолой, которая при этом нагревается, плавится и обволакивает зерна песка. Далее в смесь вводят уротропин и другие необходимые технологические добавки. После завершения перемешивания смесь охлаждают и просеивают. Процесс горячего плакирования требует тщательного контроля температурных режимов – начальной температуры песка при вводе в смеситель и температуры смеси в момент ввода уротропина. Нарушение этих режимов приводит к получению некачественных смесей. Для горячего плакирования песка необходимо более сложное оборудование, чем для холодного плакирования.

## 2. Изготовление оболочек

*Операция 1.* Песчано-смоляная смесь засыпается в поворотный бункер на 1/3 его высоты.

*Операция 2.* Модельную плиту ([рис. 29](#)) с закрепленной на ней моделью нагревают до температуры 250–270 °С.

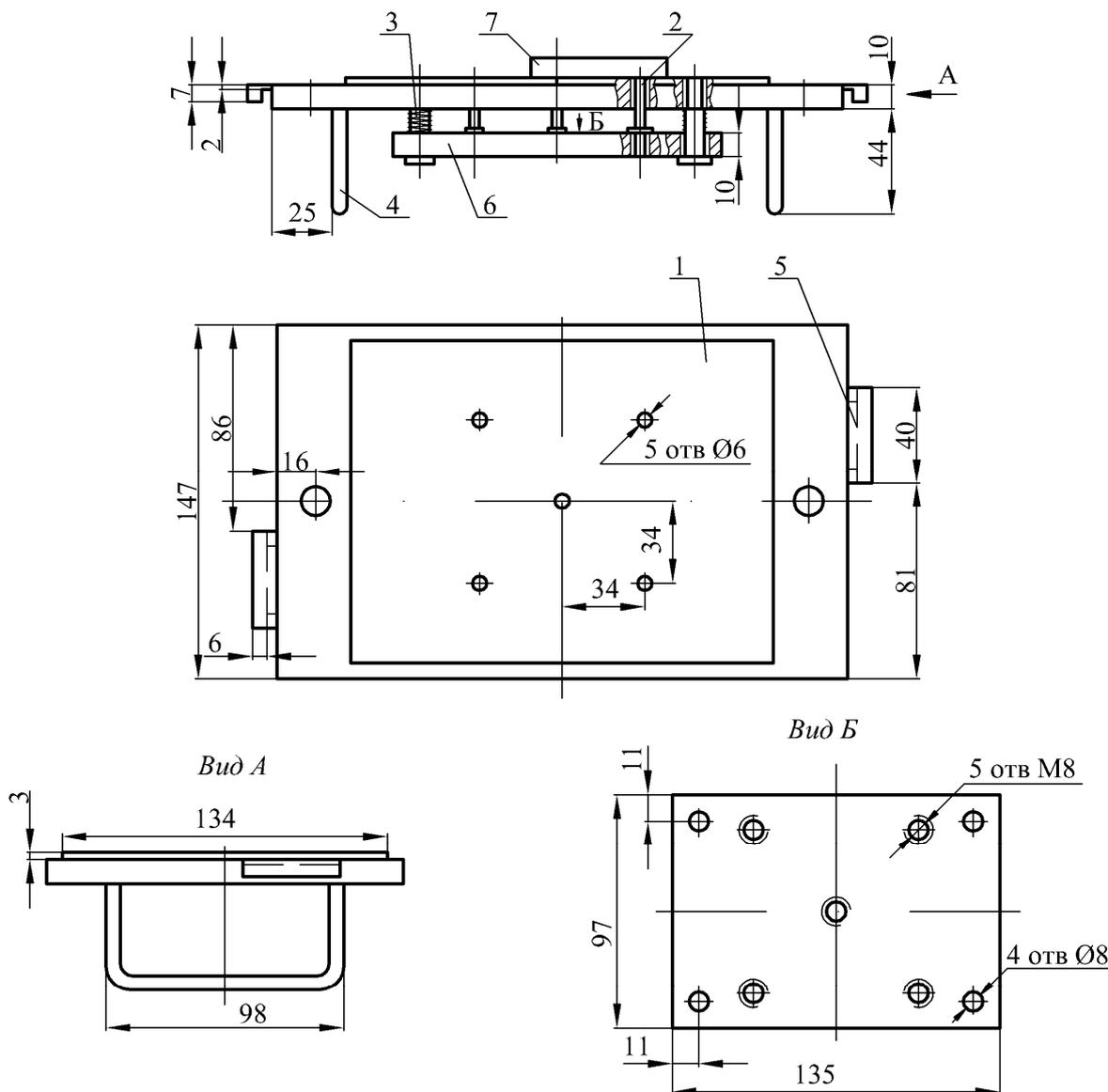


Рис. 29. Подмодельная плита: 1 – подмодельная плита; 2 – выталкиватель; 3 – штанги с пружинами; 4 – ручки; 5 – держатель; 6 – нижняя плита; 7 – модель

*Операция 3.* На рабочую поверхность модельной плиты наносят тонкую пленку разделительного состава (силиконовую смазку).

*Операция 4.* Горячую модельную плиту устанавливают на горловину бункера со смесью и закрепляют зажимами (рис. 30, а).

*Операция 5.* Бункер переворачивается на  $180^\circ$ , вследствие чего песчано-смоляная смесь засыпает модельную плиту (рис. 30, б).

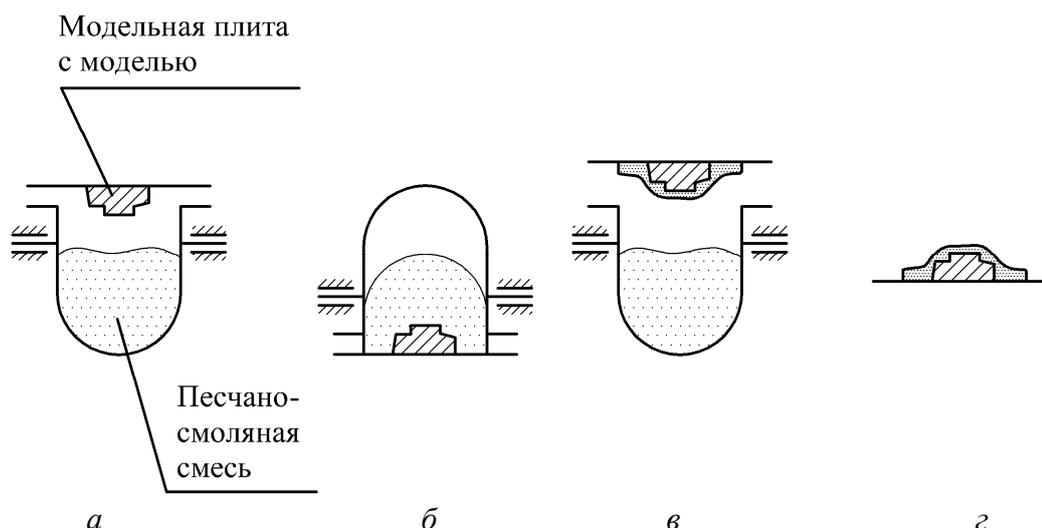


Рис. 30. Технология изготовления оболочковых форм бункерным способом

*Операция 6.* Для формирования оболочки необходимой толщины плиту выдерживают под смесью в течение 20–60 с. Под действием тепла модельной плиты слой смеси, прилегающий к ней, толщиной 6–8 мм прогревается до температуры плавления смолы и зерна песка оказываются склеенными смолой.

*Операция 7.* Бункер возвращают в исходное положение. При повороте бункера излишки смеси сыплются на его дно ([рис. 30, в](#)).

*Операция 8.* Модельную плиту снимают с бункера и переворачивают моделью вверх ([рис. 30, г](#)).

*Операция 9.* Модельная плита с оболочкой устанавливается в муфельный шкаф в течение 60–120 с при температуре 250–270 °С для доотверждения.

*Операция 10.* Отверженную оболочку снимают с модельной плиты и дают остыть.

Аналогичным способом изготавливают вторую оболочковую полуформу.

**3. Сборка (соединение) оболочек в формы.** Выбор способа соединения оболочковых полуформ зависит от масштаба и характера производства. В мелкосерийном производстве используют механические методы соединения полуформ с помощью пружинящих скоб, струбцин, профильных стяжных приспособлений.

В крупносерийном и массовом производстве оболочковые полуформы склеивают в горячем или холодном состояниях.

Горячие оболочки склеивают в специальном прессе с использованием термотвердеющего клея (чаще порошкообразного), который наносят на нижнюю полуформу. Далее устанавливают верхнюю полуформу и выдерживают собранную форму в течение 30–60 с под давлением. Температура оболочек при склеивании должна находиться в пределах 110–180 °С.

Для склейки холодных оболочек (холодная сборка) применяют жидкие клеи, отверждаемые катализаторами, нагревом токами высокой частоты (ТВЧ) либо продувкой газообразных отвердителей. Склеивание осуществля-

ют в специальных прессах, дополнительно снабженных генераторами ТВЧ либо устройствами подачи газа.

**4. Установка форм под заливку.** Для предотвращения растрескивания и разрушения оболочек при заливке готовые оболочковые формы устанавливают в металлические короба, имеющие направляющие для удержания оболочек в вертикальном направлении, и засыпают наполнителем (крупнозернистый песок, горелая земля, металлическая дробь и т.д.).

Достоинствами литья в оболочковые формы по сравнению с литьем в песчаные формы являются:

чистота поверхности и существенное улучшение товарного вида отливок; возможность получения отливок с тонким и сложным рельефом, а также толстостенных отливок с литыми каналами малых сечений;

уменьшение трудоемкости ряда операций технологического процесса (особенно таких, как приготовление формовочной смеси, изготовление форм, очистка отливок и другие);

сокращение (в 8–10 раз) объема переработки и транспортирования формовочных материалов;

снижение (примерно в 2 раза) первоначальных капитальных затрат и требуемых производственных площадей.

К недостаткам литья в оболочковые формы относятся:

относительно высокая стоимость и дефицитность смолы;

сложность модельной (стержневой) оснастки;

повышенное количество вредных выделений вследствие термического разложения смоляного связующего;

недостаточная прочность оболочек при получении относительно тяжелых отливок.

### Методика проведения работы

1. Получить у преподавателя песчано-смоляную смесь.
2. Загрузить смесь в бункер на 1/3 от его объема.
2. Модельную плиту нагреть до температуры 250–270 °С и нанести на ее поверхность разделительный состав (силиконовую смазку).
3. Изготовить оболочковые полуформы.
4. Произвести сборку формы и установить ее под заливку.
5. Произвести заливку формы силумином при температуре 720–750 °С.
6. Выбить отливку из формы, очистить ее поверхность от остатков горелого песка.
7. Произвести оценку качества полученной отливки.

**Контрольные вопросы и задания**

1. В чем заключается суть литье в оболочковые формы?
2. На каких свойствах связующего основан способ литья в оболочковые формы?
3. Какие смеси используются в оболочковом литье?
4. Какие технологические добавки используют в составе песчано-смоляных смесей?
5. Что такое плакирование песка?
6. Расскажите о сути горячего плакирования.
7. Расскажите о сути холодного плакирования.
8. Перечислите основные достоинства способа литья в оболочковые формы.
9. Перечислите основные недостатки способа литья в оболочковые формы.
10. Каковы основные технологические операции литья в оболочковые формы?

## Лабораторная работа 7

### Получение слитков

#### Краткие теоретические сведения

Слиток – это отливка простейшей формы (цилиндр, полый цилиндр, параллелепипед, призма), предназначенная для обработки давлением (прокатка, прессование, ковка). В некоторых случаях из небольших слитков механической обработкой (точением, сверлением и др.) получают гайки, втулки, шайбы. Слиток, кроме заданного химического состава, должен иметь высокую плотность. В нем не должно быть газовой или усадочной пористости, усадочной рыхлости и раковин. Подобного рода несплошности при обработке давлением раскатываются, вытягиваются и проявляются на деформированных полуфабрикатах в виде пленок, складок, трещин, надрывов и расслоений.

Поверхность слитков должна быть чистой, без неслитин, засоров, раковин. Очень часто перед обработкой приходится снимать поверхностный слой слитка. В ряде случаев поступаются качеством поверхности слитка ради повышения его плотности. Очень вредны в слитках инородные включения шлакового, флюсового и окисного характера. Они нарушают сплошность металла и этим затрудняют обработку слитка и эксплуатацию изделия. Во время промежуточных отжигов в ходе прокатки инородные включения могут играть роль центров газовыделения и быть причиной появления газовых пузырей на листах.

Кристаллическая структура слитков должна быть беспористой и иметь тонкое и равномерное распределение вторых фаз. Такое строение облегчает пластическое деформирование металла. Очень крупное макрозерно в слитках нежелательно, так как при этом может возникнуть анизотропность свойств у деформированных полуфабрикатов и увеличение брака по трещинам.

Очень вредна также зональная ликвация в слитках, т.е. разница в химическом составе по сечению. Эта разница возникает в ходе затвердевания и может быть изменена путем регулирования скорости и направления охлаждения.

При получении слитков необходимо следить, чтобы возникающие в них во время затвердевания и охлаждения напряжения были минимальны. Эти напряжения могут вызвать образование трещин и изгиб слитков во время литья и при хранении и затруднить пластическое деформирование.

В настоящее время слитки получают такими способами, как литьем в изложницы (наполнительное литье) и в кристаллизаторы (непрерывное литье). Оба способа имеют ряд разновидностей.

*Наполнительным* является такое литье, при котором форма и размер слитка определяется полостью изложницы. Слиток в этом случае получается в результате полного или частичного заполнения изложницы.

*Непрерывным* литьем называют такой способ литья, в процессе которого из кристаллизатора извлекается частично затвердевший слиток, длина которого больше длины кристаллизатора.

Основное отличие этих способов состоит в положении фронта кристаллизации по отношению к поверхности охлаждения. При литье в изложницы фронт кристаллизации непрерывно перемещается по сечению и длине слитка, в то время как сам слиток остается неподвижным. При непрерывном литье, наоборот, слиток перемещается с постоянной скоростью, а фронт кристаллизации остается неподвижным по отношению к кристаллизатору.

Получение слитков литьем в изложницы осуществляют с применением водоохлаждаемых и неводоохлаждаемых изложниц.

Литье в неводоохлаждаемые изложницы – наиболее старый способ получения слитков. В настоящее время так получают круглые и плоские слитки сравнительно небольших размеров (диаметром 80–120 мм, толщиной 20–50 мм, длиной до 1000 мм) из никеля, меди, бронзы ОЦС, бериллиевой бронзы и других сплавов. В большинстве случаев слитки получают заполнением вертикальных, разъемных или сплошных одногнездных или многогнездных массивных изложниц, схемы которых представлены на [рис. 31, 32](#). Неводоохлаждаемые изложницы изготавливают, как правило, из чугуна и стали, иногда из меди; в лабораторных условиях используют бронзовые и графитовые изложницы.



Рис. 31. Горизонтальная изложница

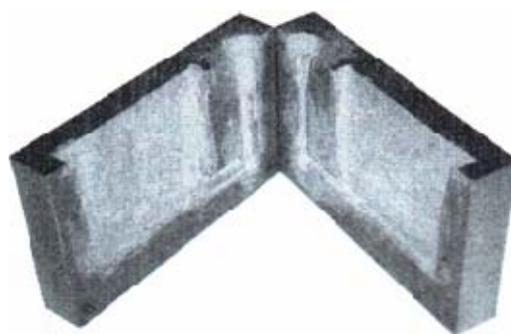


Рис. 32. Вертикальная изложница

Для предотвращения приваривания и газовых дефектов рабочие полости изложниц перед заполнением их металлом окрашивают различными красками и смазками. При заливке изложницы металлом происходит сухая перегонка смазки. Выделяющиеся газы защищают струю металла от окисления. Выгорание смазки влечет за собой прогрев воздуха в неровностях поверхности изложницы, в его расширение до подхода жидкого металла, что уменьшает возможность образования дефектов на поверхности слитка. Интенсивное выделение летучих при перегонке смазки способствует оттеснению шлака от поверхности изложницы и лучшему его всплыванию; образующийся коксовый остаток на стенке изложницы предотвращает приваривание к ней слитка.

Затвердевание металла в вертикальных изложницах идет преимущественно с боковых сторон, поэтому всегда есть опасность образования усадочных раковин, рыхлот и пор в центральной зоне слитка. Если предположить строго равномерное нарастание твердых кристаллов от стенок формы, то вверху слитка неизбежно образуется коническая усадочная раковина, переходящая в тонкий центральный канал, разделяющий слои, выросшие с боковых стенок. Кроме того, если учесть, что сплавы затвердевают в температурном интервале, то наряду с усадочной раковиной возможно образование усадочной пористости, основная часть которой будет сосредоточена также в верхней части слитка и на стыке кристаллов, растущих с противоположных сторон.

Изложницы заполняют, как правило, заливкой сверху. Чем ближе скорость затвердевания к скорости заливки, тем меньше величина усадочной раковины, и при их равенстве величина усадочной раковины минимальна. Излишне малая скорость заливки может привести к чрезмерному охлаждению металла и образованию так называемых неслитин на поверхности слитка. Поэтому очень важен выбор наилучшего соотношения между скоростью заливки и скоростью затвердевания. Это достигается главным образом регулированием скорости заливки, так как изменять скорость затвердевания значительно труднее.

Основной недостаток литья в неводоохлаждаемые изложницы – это относительно малая скорость отвода тепла от кристаллизующегося металла и отсутствие условий для направленного затвердевания. Использование медленной заливки несколькими струями через воронки позволяет направить ход кристаллизации снизу вверх. Однако получить высококачественный слиток, особенно крупный, литьем в такие изложницы невозможно.

Применение горизонтальных изложниц позволяет осуществить более направленную кристаллизацию снизу вверх и получить слиток хорошего качества. Однако таким способом нельзя отливать круглые слитки, а также плоские малых сечений.

Применение водоохлаждаемых изложниц позволяет увеличить скорость охлаждения слитка и улучшить качество его поверхности. Увеличение скорости охлаждения в таких изложницах способствует улучшению качества металла, приближает скорость затвердевания к скорости заливки и тем самым вызывает уменьшение усадочных пороков. Литьем в водоохлаждаемые изложницы получают слитки из бронз, латуней, никеля, некоторых тугоплавких металлов.

**Методика проведения работы**

1. Изучить горизонтальную и вертикальную изложницы.
2. Залить расплав (силумин) при температуре 720–750 °С, охладить.
3. Извлечь слиток и оценить его качество.

**Контрольные вопросы и задания**

1. Что такое слиток?
2. Какие требования предъявляют к качеству слитков?
3. Каковы способы получения слитков и какова их краткая характеристика?
4. С какой целью производят окрашивание изложниц?
5. Назовите основные недостатки литья в неводоохлаждаемые изложницы.
6. Почему слитки, полученные в водоохлаждаемые изложницы, обладают более лучшим качеством, чем слитки, полученные в неводоохлаждаемые изложницы?
7. Укажите основной недостаток литья в неводоохлаждаемые изложницы.
8. Что такое наполнительное литье?
9. Что такое непрерывное литье?
10. Укажите, какие бывают изложницы.

## **РАЗДЕЛ 2**

# **ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ**

### **Лабораторная работа 1**

#### **Определение коэффициента трения методом осадки кольца**

#### **Краткие теоретические сведения**

В процессах обработки металлов давлением металл перемещается относительно инструмента. При этом возникают силы, препятствующие перемещению – силы трения. Чаще всего силы трения играют отрицательную роль, выражающуюся в следующем:

- вызывают высокие удельные давления на поверхности контакта, что ведет к износу инструмента и снижению точности и качества поверхности получаемых изделий;

- повышают температуру в зоне контакта, которая может способствовать изменению физико-химического состояния деформируемого металла;

- требуют дополнительного расхода энергии на их преодоление;

- способны изменять схему напряженного состояния при деформации, а значит, и влиять на пластичность металла;

- приводят к неравномерному течению металла.

Однако некоторые виды обработки металлов давлением невозможно было бы осуществить без трения, например, прокатку.

На величину напряжения трения большое влияние оказывают такие факторы, как шероховатость инструмента, температура, величина и скорость деформации, природа деформируемого металла и др.

Шероховатость контактных поверхностей при действии высоких нормальных напряжений приводит к затеканию деформируемого металла в микронеровности инструмента. В результате небольшого смещения контактирующих поверхностей в тонком слое металла наблюдаются локальные деформации. При этом степень деформации приконтактных слоев металла и основного объема значительно отличаются. Интенсивное сдвигообразование в контактном слое упрочняет его. С повышением интенсивности деформации и упрочнения у контактной поверхности происходит увеличение напряжения трения. Наоборот, смазка и повышение качества обработки поверхности снижает уровень локальных деформаций, а следовательно, и напряжение трения.

В обработке металлов давлением различают три основных вида трения: сухое, граничное и жидкостное.

При сухом трении поверхности трущихся тел свободны от третьих веществ (смазки, окислов и т.д.), т.е. происходит взаимодействие чистых металлических поверхностей. В чистом виде такой вид трения при обработке

давлением не встречается, поэтому в широкой практике сухим трением называют трение несмазанных тел.

Граничное трение характеризуется наличием на поверхности трущихся тел адсорбированных веществ, существенно отличающихся свойствами от материалов инструмента и обрабатываемого тела. При этом имеет место механическое зацепление шероховатостей поверхностей контакта. Этот вид трения реализуется при использовании смазок, которые содержат поверхностно-активные вещества, адсорбирующиеся на трущихся поверхностях с образованием прочных пленок. Такие пленки способны выдерживать высокие нагрузки и оказывать малое сопротивление сдвигу этих поверхностей. Однако толщина смазки так мала, что шероховатости изделия и инструмента находятся во взаимном зацеплении.

При жидкостном трении между трущимися поверхностями имеется слой смазки, выводящий из механического зацепления шероховатости этих поверхностей. Поэтому жидкостное трение – это внутреннее трение в объеме смазки. Оно нашло применение, например, при волочении проволоки. Ведутся работы по реализации этого вида трения и в других видах обработки металлов давлением. Термин «жидкостное трение» условен, так как смазка может быть консистентной и даже твердой, например, парафин. Главное, чтобы не происходило соприкосновение трущихся поверхностей, а сопротивление деформации самой смазки было во много раз меньше сопротивления деформации обрабатываемого металла. Отличительная особенность жидкостного трения – давление в слое смазки. Оно должно быть таким, чтобы могло перевести обрабатываемый металл в пластическое состояние. В этом случае смазка не будет выдавливаться из промежутка между трущимися поверхностями, а деформация изделия инструментом будет осуществляться через слой смазки.

На напряжение трения оказывают влияние многие факторы: состояние поверхностей инструмента и деформируемого тела, величина давления, скорость и температура деформации, наличие смазки, способ ее подачи и др. Все это объясняет сложность зависимости напряжения трения от перечисленных факторов. Практически используют два упрощенных закона трения.

Согласно закону А монтана-Кулона, сила трения  $T$  пропорциональна нормальному давлению  $P$  на поверхности контактирующих тел:

$$T = f \cdot P, \quad (6)$$

где  $f$  – коэффициент трения.

При переходе к элементарной площадке закон трансформируется:

$$\tau = f \cdot p, \quad (7)$$

где  $\tau$  – удельное трение, или напряжение трения;  $p$  – нормальное контактное напряжение.

При этом  $\tau$  может достигать предела текучести материала при сдвиге. Этот закон обычно используют при холодной обработке давлением. В случае горячей обработки давлением лучше пользоваться законом Зибеля:

$$\tau = f \cdot \sigma_s, \quad (8)$$

где  $\sigma_s$  – предел текучести материала, зависящий от температуры.

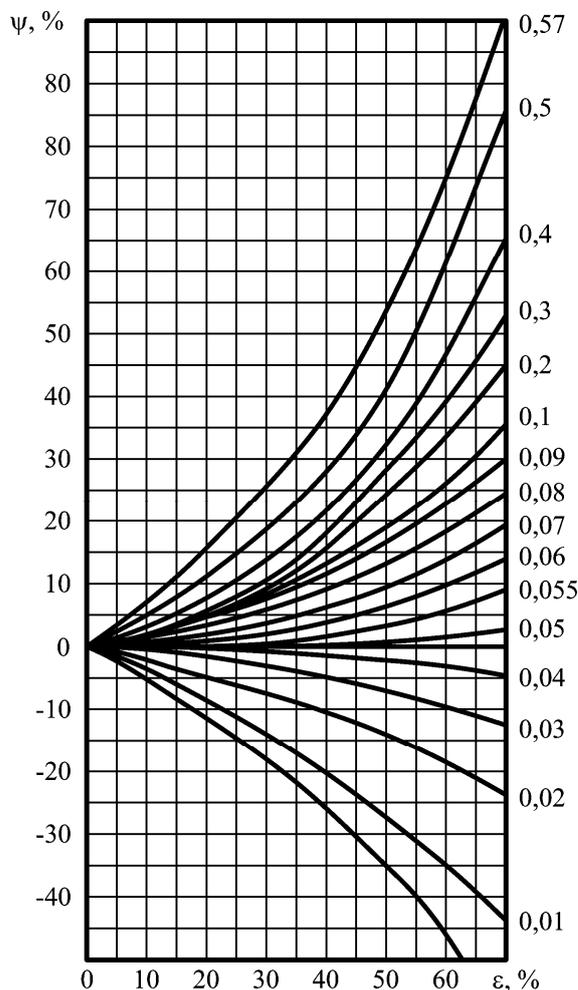


Рис. 33. Номограмма для определения коэффициента трения методом осадки кольца

Коэффициент трения при обработке металлов давлением обычно меняется от 0,1 до 0,5. При использовании смазки он может снижаться до 0,03.

Чистота поверхности и применение смазки характеризуется коэффициентом трения  $\mu$ , который можно найти различными способами. Один из таких способов заключается в осадке кольцевых образцов и основан на зависимости изменения внутреннего диаметра кольца от коэффициента трения. При  $\mu = 0$  кольцо расширяется как сплошной диск, при значительном трении отверстие сужается. Сжатие образцов производится между плоскими бойками с разной шероховатостью рабочей поверхности. До и после осадки измеряют толщину образцов  $h_0$  и  $h_1$ , диаметры внутренних отверстий  $d_0$  и  $d_1$  и по формулам 4 и 5 вычисляют  $\varepsilon$  – степень деформации и  $\psi$  – относительное сужение отверстия:

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h_1}{h_0} \cdot 100 \%, \quad (9)$$

$$\Psi = \frac{d_0 - d_1}{d_0} \cdot 100 \% . \quad (10)$$

После этого, используя график (рис. 33) определяют коэффициент трения.

### Методика проведения работы

1. Взять четыре образца из алюминиевого сплава, измерить их высоту  $h_0$  и внутренний диаметр  $d_0$ .

2. Все образцы поочередно осадить до одной высоты на прессе, используя при этом бойки с разным качеством обработки поверхности: шероховатые, гладкие и зеркально гладкие. Осадку на шероховатых бойках провести дважды: со смазкой и без смазки.

3. Измерить высоту и внутренний диаметр образцов после осадки, соответственно,  $h_1$  и  $d_1$ .

4. Вычислить по формулам 1 и 2 величины  $\epsilon$  и  $\psi$ , с помощью которых по рис. 33 определить коэффициент трения  $\mu$ . Все данные занести в табл. 19.

Таблица 19

Состояние поверхности бойков	Высота образца, мм		Степень деформации $\epsilon$ , %	Внутренний диаметр образца, мм		Относительное сужение $\psi$ , %	Коэффициент трения $\mu$
	$h_0$	$h_1$		$d_0$	$d_1$		
Шероховатые							
Гладкие							
Зеркальные							
Шероховатые со смазкой							

### Контрольные вопросы и задания

1. Какова роль трения в процессах обработки металлов давлением?
2. Перечислите процессы обработки металлов давлением, в которых трение играет положительную роль.
3. Каковы виды трения и характеристика каждого из них?
4. Каковы законы трения?
5. Каковы способы снижения коэффициентов трения?
6. Какова методика определения коэффициента трения?
7. Назовите способы повышения износостойкости инструмента для обработки металлов давлением.

## Лабораторная работа 2

### Изменение пластичности и сопротивления деформации металла при холодной прокатке

#### Краткие теоретические сведения

*Пластичность* – это способность металла под действием нагрузки менять свою форму без разрушения и сохранять ее после снятия нагрузки.

Основными факторами, влияющими на пластичность металлов при обработке давлением, являются:

- состав и структура деформируемого металла;
- характер напряженного состояния при деформации;
- неравномерность деформации;
- скорость деформации;
- температура деформации;
- степень деформации;
- режим термической обработки.

При температурах обработки, близких к абсолютному нулю, металл имеет минимальную пластичность из-за низкой тепловой подвижности атомов. Однако при температурах, близких к температуре плавления металла, возможны перегрев или пережог. Наибольшую пластичность металлы имеют в интервале от температуры рекристаллизации до температуры плавления. Однако верхний предел должен быть ниже температуры окисления границ зерен. Важным параметром структуры в изделии, полученном деформированием при температуре выше температуры рекристаллизации, является размер зерна, который сильно влияет на механические свойства изделий. Зависимость размера зерна в металлах после деформации с последующей рекристаллизацией, с одной стороны, от температуры, а с другой – от степени деформации, обычно представляется объемными диаграммами рекристаллизации, которые строят по результатам специально проводимых экспериментов. Эти диаграммы характерны для каждого металла и сплава и используются для выбора температурного режима деформации.

Характер пластической деформации зависит от процессов упрочнения и разупрочнения. В связи с этим принято различать горячую, неполную горячую, неполную холодную и холодную деформации.

При горячей деформации металл не получает упрочнения. Процесс протекает при температуре, превышающей температуру рекристаллизации. Рекристаллизация успевает пройти полностью. Новые равноосные зерна полностью заменяют деформированные зерна, искажения кристаллической решетки отсутствуют.

Неполная горячая деформация характеризуется незавершенностью рекристаллизации, которая не успевает закончиться во время деформации, так как ее скорость ниже, чем скорость деформации. Часть зерен в металле

остаётся деформированной, и металл упрочняется. Возникают значительные остаточные напряжения, способные привести к разрушению материала. Этот вид деформации наиболее вероятен при температурах, незначительно превышающих температуру рекристаллизации. При обработке металлов давлением неполная горячая деформация почти не используется.

Неполная холодная деформация – это деформация, при которой рекристаллизация не происходит, но протекает процесс возврата. Температура деформации выше температуры начала возврата, а скорость деформации не превышает скорости возврата. Остаточные напряжения в значительной степени снимаются, а интенсивность упрочнения понижается.

При холодной деформации разупрочняющие процессы (возврат и рекристаллизация) не происходят. Температурный интервал холодной деформации расположен ниже температуры начала возврата.

Согласно приведенной классификации, холодная и горячая деформация не связаны с конкретными температурами нагрева, а зависят только от протекания процессов упрочнения и разупрочнения. Поэтому, например, деформация свинца при комнатной температуре относится к горячей деформации, так как температура рекристаллизации этого металла расположена в области отрицательных температур.

По объёму производства горячая пластическая обработка металлов распространена шире, чем холодная, хотя дороже и сложнее последней. Применение горячей обработки оправдано повышением пластичности металлов и снижением усилий на деформацию. Благодаря горячей обработке давлением можно получать крупногабаритные изделия. Холодная деформация используется обычно на конечных стадиях получения изделий для обеспечения точности размеров и высокого качества поверхности.

Холодная пластическая деформация вызывает в металле структурные изменения, включающие изменение формы кристаллитов, их кристаллографической пространственной ориентировки и внутреннего строения каждого кристаллита. Основное изменение формы кристаллитов заключается в вытягивании их в направлении главной деформации растяжения, тогда структура становится волокнистой. Кристаллические решетки зерен приобретают преимущественную пространственную ориентировку, возникает текстура деформации. Это одно из важнейших следствий кристаллографической направленности скольжения в каждом зерне по определенным плоскостям и направлениям пространственной решетки.

Важнейшее изменение внутреннего строения каждого кристаллита при холодной деформации – увеличение плотности дислокаций. Она может возрасти на 5–6 порядков. Кроме того, растет концентрация вакансий, появляются участки с локальной разориентировкой кристаллической решетки. При не слишком низкой энергии дефектов упаковки образуются микрополосы и формируется ячеистая структура.

С увеличением степени холодной деформации показатели сопротивления деформированию ( $\sigma_B$ ;  $\sigma_{0,2}$ ; НВ) возрастают, а показатели пластичности ( $\delta$ ,

ψ) падают. Рост прочностных характеристик и снижение пластических обусловлен повышением плотности дислокаций, которое затрудняет скольжение уже имеющихся, а также генерирование и скольжение «свежих» дислокаций.

Из-за волокнистости структуры и наличия текстуры деформации холоднодеформированный металл характеризуется анизотропией свойств. Поэтому для оценки механических свойств изделий, полученных холодной деформацией, необходимо испытывать образцы, вырезанные как вдоль, так и поперек направления деформации. В связи с этим в таких изделиях различают долевые, поперечные, а в объемных полуфабрикатах еще и высотные свойства. Обычно показатели пластичности и ударная вязкость поперечных образцов бывает ниже, чем долевых. Причина заключается в том, что при вырезке поперек волокон возрастает число межзеренных границ, обогащенных примесями и менее пластичными, чем тело зерна.

Холодная деформация применяется в следующих случаях:

когда сечения обрабатываемого металла малы, а из-за большого отношения поверхности к объему охлаждение происходит так быстро, что практически невозможно обеспечить высокую температуру в зоне деформации (прокатку тонких листов, листовую штамповку);

когда необходимо получить изделия (проволоку, листы, ленты) с хорошим качеством поверхности и повышенной точности;

когда необходимо получить изделия (проволоку, ленты, лист) с заданным уровнем механических свойств.

### Методика проведения работы

1. Отожженные алюминиевые образцы разной начальной толщины (от 2 до 5 мм) прокатать на стане до толщины порядка 1 мм.

2. Относительное обжатие при прокатке каждого образца определить по формуле

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h_1}{h_0} \cdot 100, \quad (11)$$

где  $\varepsilon$  – относительное обжатие, %;  $h_0, h_1$  – соответственно, толщина образца до и после прокатки.

3. Из недеформированной заготовки толщиной 1 мм и прокатанных полос вырубкой в штампе изготовить образцы для испытания на растяжение.

4. Разметить образцы, как показано на [рис. 34](#). Рабочая длина образцов при их толщине  $h_1 = 1$  мм равна 50 мм. Замерить толщину и ширину рабочей части образца. Определить площадь поперечного сечения рабочей части образца до разрыва  $F_0$ .

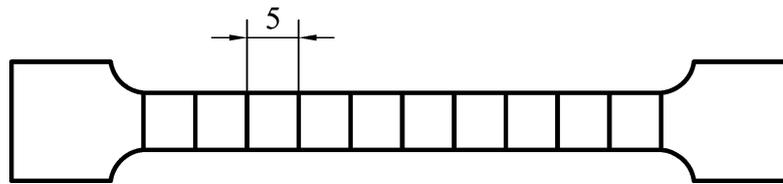


Рис. 34. Образец для испытания на растяжение

5. Разорвать образцы (в том числе и недеформированный) на испытательной машине, измеряя при этом максимальную силу разрыва.

6. Измерить длину образцов после разрыва  $l_1$ , причем место разрыва должно находиться в рабочей зоне.

7. Определить относительное удлинение  $\delta$  по формуле (12) и временное сопротивление разрыву  $\sigma_b$  по формуле (13):

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100\%, \tag{12}$$

$$\sigma_b = \frac{P_p}{F_0}, \tag{13}$$

где  $l_1$  – длина образца после разрыва, мм;  $l_0$  – длина образца до разрыва,  $l_0 = 50$  мм;  $P_p$  – максимальная сила разрыва, Н;  $F_0$  – площадь поперечного сечения образца до разрыва, мм<sup>2</sup>.

8. Все данные занести в табл. 20.

9. По данным табл. 20 построить графики зависимостей  $\sigma_b = f(\epsilon)$ ;  $\delta = f(\epsilon)$ .

Таблица 20

$h_0$ , мм	$h_1$ , мм	$\epsilon$ , %	$F_0$ , мм <sup>2</sup>	$P_p$ , Н	$l_0$ , мм	$l_1$ , мм	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %

### Контрольные вопросы и задания

1. Какова пластическая деформация монокристалла?
2. Какова пластическая деформация поликристалла?
3. Назовите факторы, влияющие на пластичность металла.
4. Каково влияние пластической деформации на структуру и свойства металла?
5. Назовите виды пластической деформации
6. В чем заключается сверхпластичность?

### Лабораторная работа 3 Коэффициенты деформации и захват металла валками при прокатке

#### Краткие теоретические сведения

Прокаткой называется процесс деформации металла путем обжатия исходной заготовки между вращающимися валками с целью уменьшения поперечного сечения заготовки и придания ей заданной формы ([рис. 35](#)).

Прокатка – это один из наиболее распространенных видов обработки металлов давлением, которому подвергается приблизительно 80 % выплавляемого в нашей стране металла. Широкое применение прокатки объясняется рядом преимуществ ее по сравнению с другими видами обработки давлением (прессованием, волочением), а также высокой производительностью этого процесса и меньшей стоимостью получаемых изделий.

При продольной прокатке, которая наиболее распространена, деформирование заготовки 2 осуществляется между вращающимися в разные стороны валками 1, зазор между которыми меньше, чем исходная толщина заготовки. Процесс прокатки считают простым, или симметричным, если его осуществляют в гладких некалиброванных валках с параллельными осями, расположенными в одной плоскости. Оба валка являются приводными, имеют равные диаметры и вращаются в разные стороны с одной окружной скоростью. Состояние поверхности обоих валков одинаковое, т.е. одинаковы коэффициенты и силы трения на них. Наконец, предполагается, что прокатке подвергают полосу прямоугольного сечения с однородными физико-механическими свойствами по всему объему и на нее действуют силы только со стороны валков.

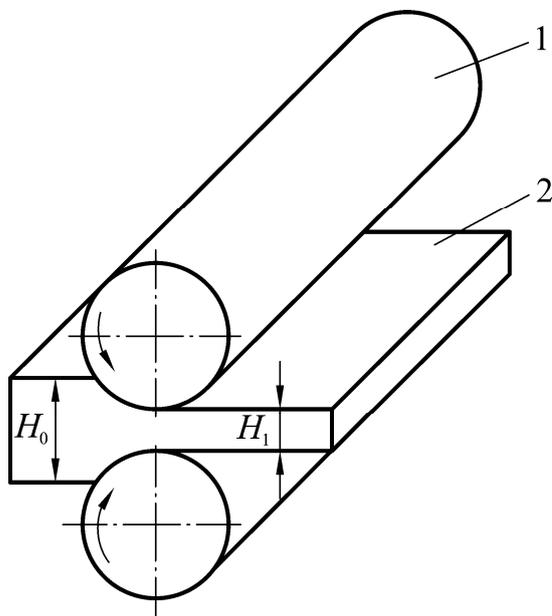


Рис. 35. Схема процесса продольной прокатки

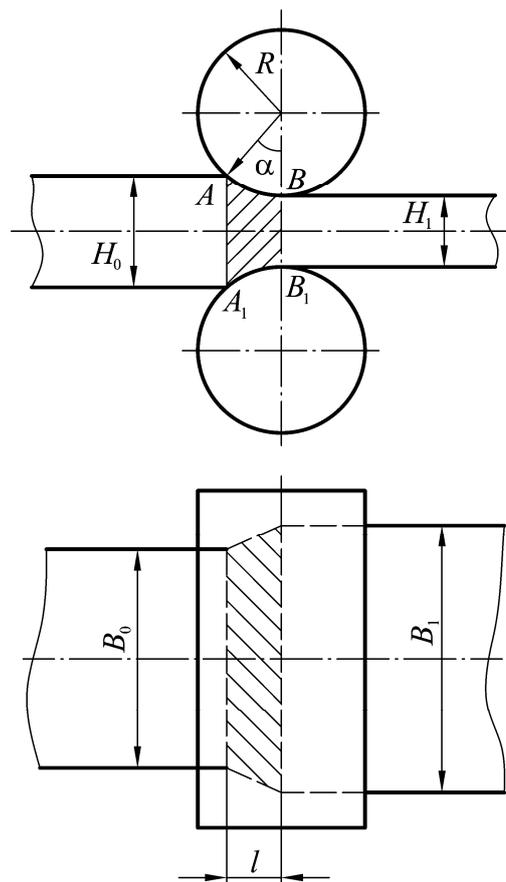


Рис. 36. Геометрия очага деформации при прокатке

При продольной прокатке одновременно пластической деформации подвергается не весь объем обрабатываемого металла, а только его небольшая часть, находящаяся вблизи валков. Поэтому объем прокатываемого металла, заключенный между плоскостью входа  $AA_1$  металла в валки и плоскостью выхода  $BB_1$  металла из валков, называется геометрическим очагом деформации (рис. 36). Дуга  $AB$ , по которой деформируемый металл контактирует с валками, называется дугой захвата, а центральный угол  $\alpha$ , соответствующий дуге захвата, – углом захвата. Проекция очага деформации на горизонтальную ось – это длина очага деформации  $l$ .

При прокатке исходная полоса толщиной  $H_0$  обжимается валками до толщины  $H_1$  на величину абсолютного обжатия:

$$\Delta H = H_0 - H_1. \quad (14)$$

Поскольку действует условие несжимаемости металла, то происходит увеличение длины и ширины полосы. Таким образом, форму геометрического очага деформации при прокатке характеризуют углом захвата  $\alpha$ , высотами сечения  $H_0$  и  $H_1$ , длиной очага деформации  $l$ , а также начальной и конечной шириной полосы  $B_0$  и  $B_1$ . Для нахождения  $\alpha$  и  $l$  используют формулы

$$\cos \alpha = 1 - \frac{\Delta H}{D}, \quad (15)$$

$$l \approx \sqrt{R \cdot \Delta H}, \quad (16)$$

где  $R$  и  $D$ , соответственно, радиус и диаметр валков.

Для оценки величины деформации при прокатке используют такие безразмерные величины, как коэффициенты обжатия  $\eta$ , уширения  $\beta$ , вытяжки  $\lambda$ , определяемые по следующим формулам:

$$\frac{1}{\eta} = \frac{H_0}{H_1}, \quad (17)$$

$$\beta = \frac{B_1}{B_0}, \quad (18)$$

$$\lambda = \frac{L_1}{L_0}, \quad (19)$$

где  $L_0, L_1$  – длина заготовки, соответственно, до и после прокатки.

По закону постоянства объема

$$\eta \cdot \beta \cdot \lambda = \frac{V_1}{V_0} = 1, \quad (20)$$

где  $V_0, V_1$  – объем металла, соответственно, до и после прокатки.

Для оценки интенсивности деформации применяют относительное обжатие  $\varepsilon_H$ , относительное уширение  $\varepsilon_B$ , относительное удлинение  $\varepsilon_l$ :

$$\varepsilon_H = \frac{H_0 - H_1}{H_0} = \frac{\Delta H}{H_0}, \quad (21)$$

$$\varepsilon_B = \frac{B_1 - B_0}{B_0} = \frac{\Delta B}{B_0}, \quad (22)$$

$$\varepsilon_l = \frac{L_1 - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0}. \quad (23)$$

Для оценки интенсивности деформации применяют относительное обжатие  $\varepsilon_H$ , относительное уширение  $\varepsilon_B$ , относительное удлинение  $\varepsilon_l$ :

В практике чаще всего для характеристики деформации при прокатке используют коэффициент вытяжки  $\lambda$ , показывающий, во сколько раз увеличилась длина заготовки после прокатки, и относительную степень обжатия  $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = \frac{H_0 - H_1}{H_0} 100 \%. \quad (24)$$

Если прокатку осуществляют за несколько проходов, то суммарный коэффициент вытяжки  $\lambda_{\text{сум}}$  определяют как произведение коэффициентов вытяжки после каждого прохода:

$$\lambda_{\text{сум}} = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \dots \cdot \lambda_{n-1} \cdot \lambda_n, \quad (25)$$

где  $n$  – число проходов при прокатке.

Захват металла вращающимися валками, сопровождающийся изменением размеров прокатываемой полосы, обеспечивается наличием контактного трения между полосой и рабочей поверхностью валков. Условие захвата металла валками обычно рассматривают для двух периодов прокатки: неустановившегося и установившегося. Первый период включает захват полосы валками (или принудительную подачу ее в щель между валками) и заполнение области деформирования до момента образования некоторой длины переднего конца полосы за пределами области деформирования. По мере заполнения щели между валками условия деформирования металла непрерывно изменяются, что дало основание назвать данный период прокатки неустановившимся. Рассмотрим подробнее этот период (рис. 37).

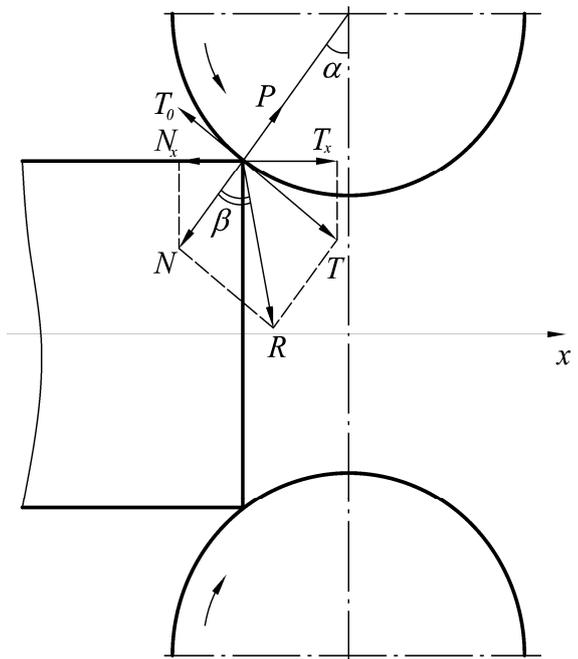


Рис. 37. Схема неустановившегося периода прокатки

При соприкосновении полосы с вращающимися валками между ними возникает взаимодействие. Валки действуют на полосу нормальной силой  $N$ , стремясь оттолкнуть металл, и силой трения  $T$ , втягивающей его в зазор между валками. В свою очередь полоса давит на валки силой  $P$  и тормозит их вращение силой  $T_0$ . Для определения захватывающей способности валков сопоставляют действие сил  $N$  и  $T$  в направлении прокатки, т.е. сравнивают горизонтальные проекции этих сил:

$$T_x = T \cos \alpha, \quad (26)$$

$$N_x = N \sin \alpha. \quad (27)$$

При этом возможны три случая. При  $T_x > N_x$  будет происходить захват; при  $T_x = N_x$  наблюдается состояние равновесия, т.е. валки будут вращаться, а полоса останется неподвижной (валки «буксуют» по полосе). Наконец, если  $T_x < N_x$ , то полоса отбрасывается от валков. С учетом выражений (26) и (27) условие захвата можно записать следующим образом:

$$\frac{T \cdot \cos \alpha}{N \cdot \sin \alpha} > 1, \quad (28)$$

или

$$\frac{T}{N} > \operatorname{tg} \alpha. \quad (29)$$

Если принять, что трение в рассматриваемом случае подчиняется закону Амонтона-Кулона, т.е.

$$T = \mu \cdot N, \quad (30)$$

где  $\mu$  – коэффициент трения,

$$\mu > \operatorname{tg} \alpha, \quad (31)$$

то будет справедливой запись.

Так как при малых углах  $\operatorname{tg} \alpha \approx \alpha$ , то условие захвата можно преобразовать так:

$$\mu > \alpha. \quad (32)$$

Если взять равнодействующую сил  $T$  и  $N$ , обозначив ее через  $R$  (рис. 37), то условие захвата примет вид

$$\beta > \alpha, \quad (33)$$

где  $\beta$  – угол трения, образуемый силами  $N$  и  $R$ .

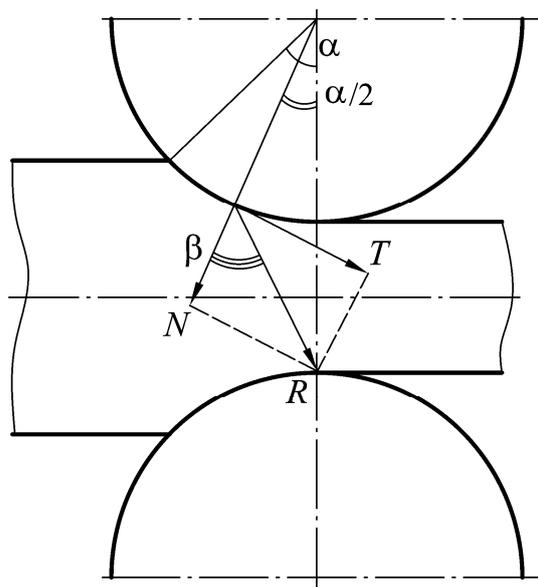


Рис. 38. Схема установившегося периода прокатки

Второй период прокатки начинается с момента выхода переднего конца полосы через сечение выхода, а заканчивается при достижении задним концом сечения выхода. На протяжении всего времени протекания второго периода параметры очага деформации остаются неизменными, поэтому второй период процесса прокатки называют установившимся. Если принять, что в установившемся периоде прокатки нормальные контактные напряжения распределены по длине области деформирования равномерно, то результирующая сила действия валков на металл будет проходить через середину дуги захвата (рис. 38).

Повторяя предыдущие рассуждения, получим условие захват для установившегося периода прокатки в следующем виде:

$$\beta > \alpha/2. \quad (34)$$

Сравнивая выражения (33) и (34), можно заключить, что в установившемся периоде прокатки захват металла валками, по сравнению с неустановившимся периодом, облегчен вдвое. Одной из основных причин этого мож-

но считать, что после заполнения зоны деформации металлом образуется избыток сил трения и тогда величину обжатий можно увеличить.

Между максимальным углом захвата в начальный момент  $\alpha_{\max}$  и максимальным углом при установившемся процессе  $\alpha_{\max}^1$  существует определенная зависимость:

$$\frac{\alpha_{\max}^1}{\alpha_{\max}} = K^1 \approx 2. \quad (35)$$

Улучшению захвата металла валками способствуют следующие факторы:

повышение коэффициента трения, например, нанесением насечек на валках;

снижение величины обжатия;

увеличение диаметра валков при данном обжатии;

использование вталкивающей силы, направленной на заготовку вдоль оси;

устройство заходного клина (фрезерование переднего конца заготовки под углом) и т.д.

Необходимо отметить, что хотя использование смазки затрудняет захват металла, холодную прокатку листов обычно ведут со смазкой для получения высокого качества их поверхности. Углы захвата при холодной прокатке со смазкой составляют 3-4°, без смазки – 5-8°. При горячей прокатке на обжимных станах (блюмингах и слябингах)  $\alpha = 18-34^\circ$ .

### Методика проведения работы

Данная работа разбита на 3 части.

#### 1. Вычисление коэффициентов деформации.

Образец из алюминия размером  $h_0 \times b_0 \times l_0$  разметить перед прокаткой, как показано на рис. 39, замерив толщину, ширину и длину в намеченных точках. Затем образец прокатать в пять проходов с обжатием около одного

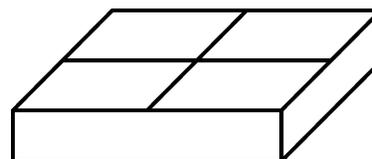


Рис. 39. Разметка образца перед прокаткой

миллиметра за проход. После каждого прохода измерять толщину  $h_i$ , ширину  $b_i$  и длину  $l_i$  в тех же точках. Провести расчеты по формулам (13)–(25) и заполнить [табл. 21](#).

Таблица 21

Номер прохода	$h_i$ , мм	$b_i$ , мм	$l_i$ , мм	$\Delta h_i$ , мм	$F_i$ , мм <sup>2</sup>	$\lambda_i$	$\eta_i$	$\beta_i$	$\Lambda_i$
Исходный									
1									
2									
3									
4									
5									

2. *Определение максимального угла захвата в неустановившемся периоде прокатки.*

Для опыта взять два свинцовых и один алюминиевый образец и измерить их длину, толщину, ширину. Одна из граней образцов должна быть тщательно зашпунена под угольник. По одному свинцовому и алюминиевому образцу прокатать на сухих, обезжиренных ацетоном валках, как указано ниже. Валки установить так, чтобы зазор между ними был примерно равен 2 мм. Образец положить на стол и при помощи деревянного бруска слегка прижать его обработанной гранью к вращающимся валкам. Затем медленно поднимать верхний валок до тех пор, пока образец не захватится валками и прокатается. Далее валки смазать маслом и, аналогично описанному выше, прокатать второй свинцовый образец. После этого измерить толщину образца до и после прокатки и измерить диаметр валков. По формуле (15) определить максимальный угол захвата в начальный момент  $\alpha_{\max}$ , а по формуле (32) приближенно коэффициент трения  $\mu$ . Все данные занести в табл. 22.

Таблица 22

Материал образца	Состояние поверхности валков	$h_0$ , мм	$h_1$ , мм	$\Delta h$ , мм	$\cos \alpha$	$\alpha_{\max}$	$\mu$
Свинец	Сухие						
Алюминий	Сухие						
Свинец	Смазанные						
Свинец (клин)	Сухие						

3. *Определение максимального угла захвата при установившемся процессе.*

Установить зазор между валками приблизительно 1–2 мм. Образец из свинца, изготовленный в виде клина (рис. 40), прокатать на сухих валках до

тех пор, пока не начнется пробуксовка валков по металлу. После этого стан остановить, поднять верхний валок и извлечь недокатанный клин. Замерив толщину прокатанной части клина  $h_1$  и толщину в месте пробуксовки  $h_0$  (рис. 40),

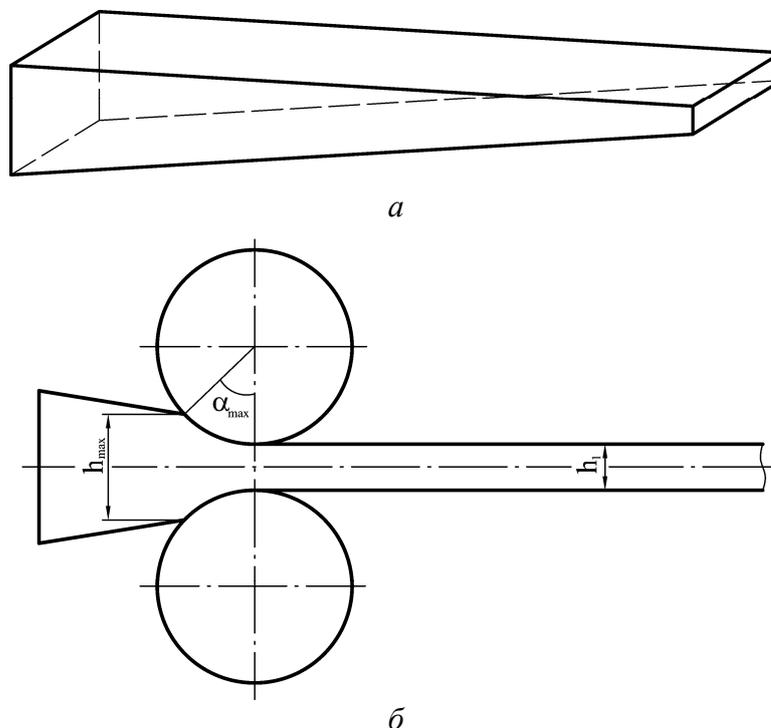


Рис. 40. Свинцовый образец (клин) до (а) и после (б) прокатки

по формуле (15) определить максимальный угол захвата при установившемся процессе  $\alpha_{max}^1$  и сравнить его с начальным углом захвата  $\alpha_{max}$  (прокатка свинцового образца на сухих валках) по формуле (35).

Закончить заполнение табл. 22.

### Контрольные вопросы и задания

1. Какова геометрия очага деформации при прокатке?
2. Каковы параметры деформации при прокатки?
3. Каково условие захвата металла валками?
4. Назовите виды продольной прокатки и получаемой продукции.
5. Какова классификация прокатных станков?
6. Какова общая характеристика оборудования линии рабочей клетки?
7. Каковы прокатные валки?
8. Назовите виды продукции, получаемые прокаткой.
9. Каковы способы прокатки труб?

## Лабораторная работа 4 Исследование опережения при прокатке

### Краткие теоретические сведения

В процессе прокатки в зоне деформации происходит скольжение металла относительно валков. Это приводит к тому, что скорость металла на выходе из валков больше, а на входе в валки меньше, чем окружная скорость валков. Такое явление называется, соответственно, опережением и отставанием. Зона, или очаг деформации, состоит из зоны опережения и зоны отставания (рис. 41). Эти две зоны разделяются нейтральным сечением, положение которого характеризуется нейтральным углом  $\gamma$ . Опережение является скоростным параметром процесса прокатки, который в значительной степени определяет характер распределения и величину давления прокатки. Это явление играет особенно большую роль при прокатке в многоклетневых непрерывных станах.

Обозначим скорость входа металла в валки  $V_0$ , скорость выхода металла из валков  $V_1$ , а окружную скорость валков  $V$  (рис. 41). В нейтральном сечении скорости металла и валков одинаковы. Опережение  $S$  выражается в процентах и может быть найдено по формуле

$$S = \frac{V_1 - V}{V} \cdot 100\%. \quad (36)$$

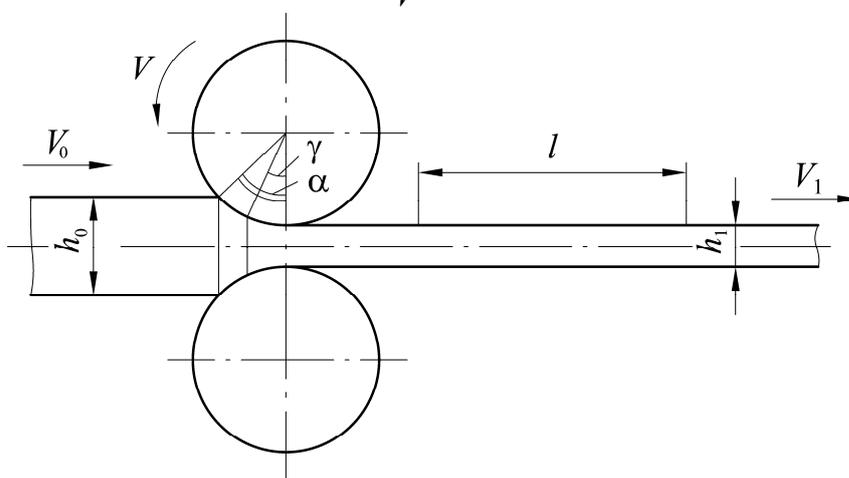


Рис. 41. Схема определения опережения

Если известно положение нейтрального сечения (т.е. угол  $\gamma$ ), то опережение можно найти по формуле Дрездена:

$$S = \frac{R}{h_1} \cdot \gamma^2, \quad (37)$$

где  $R$  – радиус валков, мм;  $h_1$  – толщина полосы после прокатки, мм;  $\gamma$  – нейтральный угол, рад.

Угол  $\gamma$  можно определить по формуле И.М.Павлова:

$$\gamma = \frac{\alpha}{2} \left( 1 - \frac{\alpha}{2\beta} \right), \quad (38)$$

где  $\alpha$  – угол захвата, рад;  $\beta$  – угол трения, численно равный коэффициенту трения.

Коэффициент опережения  $\xi$  определяется по формуле

$$\xi = 1 + S. \quad (39)$$

Тогда скорость входа металла в валки  $V_0$  будет равна

$$V_0 = \frac{\xi}{\lambda} \cdot V, \quad (40)$$

где  $\frac{\xi}{\lambda}$  – отставание.

Скорость выхода металла составит:

$$V_1 = \xi V, \quad (41)$$

где  $V$  – окружная скорость валков, равная

$$V = \frac{\pi D}{t}, \quad (42)$$

где  $t$  – время, необходимое для одного оборота валка;  $D$  – диаметр валка.

Опережение можно найти и опытным путем. На валок керном наносят метку. При прокатке эта метка оставит отпечаток на полосе (рис. 41). Так как расстояние между отпечатками на полосе больше длины окружности валка, то опережение составит

$$S = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100\%, \quad (43)$$

где  $l_1$  – расстояние между двумя метками на полосе;  $l_0$  – длина окружности валка.

На опережение влияют коэффициент трения, толщина полосы, величина обжатия, диаметр валков и др.

### Методика проведения работы

Данная работа разбита на 2 части.

I. *Определение влияния коэффициента трения и толщины полосы на опережение*, когда осуществляется следующее:

1. Две алюминиевые полосы размером  $3 \times 40 \times 500$  мм прокатать в пять проходов. При этом одну полосу прокатывать в сухих валках, а вторую в валках, смазанных машинным маслом. Обжатие за проход должно быть постоянным:  $\Delta h = 0,5 - 0,7$  мм.

2. При прокатке с помощью секундомера замерить время одного оборота валка.

3. До и после каждого прохода замерять толщину полос и расстояние между отпечатками на полосах  $l_1$ . Для нахождения длины окружности вала  $l_0$  использовать формулу

$$l_0 = \pi D. \quad (44)$$

4. По формулам (37) и (43) найти опережение, а по формулам (40), (41) скорости металла на входе в валки и на выходе из валков. Коэффициенты трения при холодной прокатке алюминия со смазкой принять  $\mu = 0,08 - 0,09$ , без смазки –  $0,2-0,25$ . Угол захвата определить по формуле

$$\alpha = \sqrt{\frac{\Delta h}{R}}. \quad (45)$$

5. Данные занести в табл. 23.

Таблица 23

№ прохода	$h_0$ , мм	$h_1$ , мм	$\Delta h$ , мм	$l_1$ , мм	$\alpha$ , рад	$\gamma$ , рад	$S$ опытное	$S$ расчетное	$V_0$ , м/с	$V_1$ , м/с
<i>Прокатка в сухих валках</i>										
1										
2										
3										
4										
5										
<i>Прокатка в валках, смазанных машинным маслом</i>										
1										
2										
3										
4										
5										

II. *Определение влияния величины обжатия на опережение*, которое осуществляется следующим образом:

1. Четыре алюминиевых образца толщиной  $h_0 = 2,0; 2,5; 3,0$  и  $3,5$  мм, шириной  $b_0 = 30$  мм и длиной  $l_0 = 500$  мм прокатать за один проход до толщины  $h_1 = 1,7$  мм в сухих валках.

2. Измерить толщину полос после прокатки и расстояние между отпечатками.

3. По формулам (37)–(43) найти опережения, скорости входа и выхода полос из валков, коэффициенты опережения для всех случаев.

4. Данные занести в [табл. 24](#).

Таблица 24

$h_0$ , мм	$h_1$ , мм	$\Delta h$ , мм	$l_1$ , мм	$S$ опытное	$S$ расчетное	$\xi$	$V_0$ , м/с	$V_1$ , м/с

### Контрольные вопросы и задания

1. Что такое опережение?
2. Какие факторы влияют на опережение?
3. Для чего необходим учет опережения в процессах прокатки?
4. Каковы экспериментальные способы определения опережения?
5. Определить порядок расчета опережения.

## Лабораторная работа 5

### Определение силовых параметров прессования

#### Краткие теоретические сведения

Прессование – это один из наиболее прогрессивных процессов обработки металлов давлением, позволяющий получать деформированные изделия – профили, отличающиеся экономичностью и высокой эффективностью при использовании в конструкциях.

Сущность процесса прессования состоит в следующем (рис. 42). Заготовка 1, нагретая до температуры прессования, помещается в контейнер 2. С выходной стороны контейнера в матрицедержателе 3 размещается матрица 5, формирующая контур изделия 4. Через пресс-штемпель 7 и пресс-шайбу 6 на заготовку передается давление от главного цилиндра пресса. Под действием высокого давления металл истекает в рабочий канал матрицы, формирующий заданное изделие.

Описанная схема относится к процессу прямого прессования. Кроме прямого существуют еще такие виды прессования, как обратное, совмещенное с боковым истечением, полунепрерывное, непрерывное и др.

Широкое развитие прессования объясняется благоприятной схемой напряженного состояния деформируемого металла – всесторонним неравномерным сжатием. В настоящее время прессованием получают несколько десятков тысяч наименований пресс-изделий из различных металлов и сплавов на прессах с номинальным усилием до 200 МН. При этом процесс ведут в широком интервале температур, выбор которых определяется главным образом величиной сопротивления деформации.

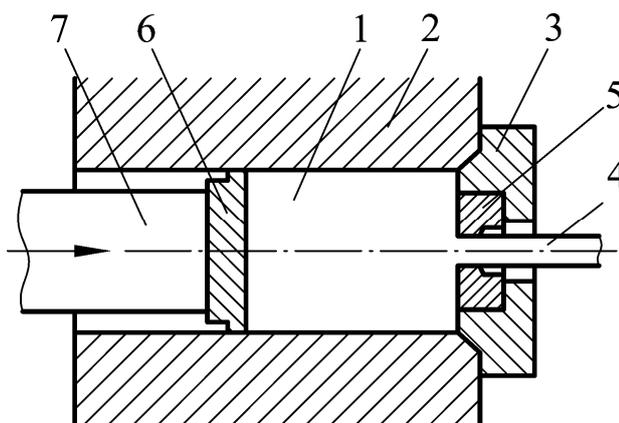


Рис. 42. Схема процесса прессования

Горячее прессование более распространено, чем холодное. Однако область применения последнего расширяется для металлов и сплавов, имеющих невысокое сопротивление деформации, с ростом производства высоко-

прочных инструментальных сталей и в результате создания высокопроизводительного специализированного оборудования.

Прессование организовано как периодически повторяющийся процесс, однако в настоящее время нашли промышленное применение способы прессования в непрерывном и полунепрерывном режимах.

Определение силовых условий необходимо для выбора оборудования, расчета инструмента, установления энергетических затрат и других показателей. Основным показателем силовых условий прессования считают усилие прессования, равное усилию, необходимому для выдавливания металла из контейнера через отверстие матрицы.

Экспериментально этот параметр можно определять на моделях или в производственных условиях путем натуральных испытаний. Последний способ наиболее точный, однако он трудоемок, дорог и для новых процессов часто невозможен. Моделирование горячих процессов связано с отступлением от природы в температурном режиме. Причиной являются различия в удельных поверхностях модели и природы, отсюда неточности этого способа.

Наиболее распространенным и простым способом определения полного усилия прессования является измерение давления жидкости в рабочем цилиндре пресса по показаниям манометра. Применяют также метод упругих деформаций колонн пресса. Наиболее точные результаты при замере усилий дает метод тензометрии.

Существует и аналитический способ определения усилия прессования по формулам И.Л. Перлина, согласно которым полное усилие пресса, необходимое для осуществления деформации, равно

$$P = R_M + T_{кр} + T_M + T_{п}, \quad (46)$$

где  $R_M$  – усилие для деформации металла без учета внешнего трения;  $T_{кр}$  – усилие для преодоления сил трения, возникающих на боковой поверхности контейнера;  $T_M$  – усилие для преодоления сил трения, действующих по боковой поверхности обжимающей части очага деформации;  $T_{п}$  – усилие для преодоления сил трения, возникающих на поверхности калибрующего пояска матрицы.

Составляющие усилия прессования при выдавливании круглого прутка из круглого слитка определяют по формулам

$$R_M = \frac{\ln \lambda}{\cos^2 \frac{\alpha}{2}} \cdot \sigma_s \cdot \frac{\pi D_k^2}{4}, \quad (47)$$

$$T_{кр} = \pi \cdot D_k \cdot (L_0 - h_{y3}) \cdot \mu_k \cdot \sigma_s, \quad (48)$$

$$T_M = \mu_M \sigma_s \frac{\pi D_k^2}{4 \sin \alpha} \cdot \ln \lambda, \quad (49)$$

$$T_{п} = \pi \cdot D_{из} \cdot \ell \cdot \mu_{п} \cdot \sigma_s, \quad (50)$$

где  $\lambda$  – коэффициент вытяжки,  $\lambda = D_k^2/D_{из}^2$ ;  $D_k$  – диаметр контейнера, мм;  $D_{из}$  – диаметр отпрессованного прутка, мм;  $\alpha$  – угол наклона образующей канала матрицы к оси прессования (для плоской матрицы угол  $\alpha$  принимают равным  $60^\circ$ );  $\sigma_s$  – средняя по длине пластической зоны величина сопротивления деформации металла, МПа (для свинца  $\sigma_s = 15$  МПа);  $L_0 = L_3 D_3^2 / D_k^2$  – длина распрессованного слитка, мм;  $L_3$  и  $D_3$  – длина и диаметр исходной заготовки;  $h_{уз}$  – высота упругой зоны,  $h_{уз} = \frac{D_k - D_{из}}{2} (0,58 - \text{ctg}\alpha)$ , мм;  $\mu_{кр}$ ,  $\mu_m$ ,  $\mu_n$  – коэффициенты трения, соответственно, на поверхности контейнера, обжимающей части матрицы и калибрующего пояска матрицы (можно принять при прессовании со смазкой  $\mu_{кр} = \mu_m = \mu_n = 0,12$ , без смазки  $\mu_{кр} = \mu_m = \mu_n = 0,20$ );  $l$  – длина калибрующего пояска, мм.

Основными факторами, влияющими на усилие прессования, являются следующие:

1. Прочностные свойства металла. Чем ниже сопротивление деформации того или иного металла, тем меньшим будет напряжение и усилие прессования.

2. Степень деформации. Чем больше деформация, тем больше энергии затрачивается на ее осуществление, тем больше усилие требуется при прочих равных условиях для прессования.

3. Длина слитка. Увеличение длины слитка означает одновременно и увеличение его поверхности, на которой действуют напряжения трения, а следовательно, и повышение усилия прессования.

4. Состояние поверхности инструмента и смазка. Износ инструмента или грубая его обработка повышают коэффициент трения, в результате чего повышается и усилие прессования. Смазка контейнера и матрицы, наоборот, уменьшает усилие прессования.

### Методика проведения работы

1. Два свинцовых образца диаметром  $D_3$  мм и длиной  $L_3$  около 40 мм отпрессовать методом прямого прессования через одноканальную матрицу: один без смазки (при этом контейнер, образец и матрицу протереть ацетоном), а второй – со смазкой машинным маслом. В процессе прессования снять индикаторную диаграмму и замерить максимальную силу прессования.

2. Два свинцовых образца диаметром 25 мм и длиной около 80 мм отпрессовать аналогично пункту 1.

3. По формуле (46) определить силу прессования и сравнить ее с экспериментально установленной величиной.

4. Все данные занести в [табл. 25](#).

Таблица 25

Длина заготовки $L_3$ , мм	Диаметр, мм		$\lambda$	Наличие смазки	$R_m$ , кН	$T_{кр}$ , кН	$T_m$ , кН	$T_p$ , кН	Усилие прессования, кН	
	$D_3$	$D_{из}$							$P_{расч}$	$P_{эксп}$

**Контрольные вопросы и задания**

1. Какова сущность и принципиальная схема процесса прессования?
2. Назовите виды прессования.
3. Каковы преимущества и недостатки процесса обратного прессования по сравнению с прямым прессованием?
4. Каковы стадии прессования?
5. Каковы силовые условия прессования?
6. Какие отходы возникают при прессовании?
7. Каково основное назначение пресс-остатка?
8. Каковы причины возникновения пресс-утяжины и меры для снижения ее величины?
9. Что входит в комплект инструментов для прессования?
10. Какие виды матриц применяют при прессовании труб и прутков?
11. Каковы параметры деформации при прессовании?
12. Каковы факторы, влияющие на усилие прессования?

## Лабораторная работа 6

### Исследование влияния режимов волочения на механические свойства металлов

#### Краткие теоретические сведения

Волочение является одним из наиболее распространенных способов обработки металлов давлением. Волочением получают проволоку, прутки, трубы. Процесс волочения (рис. 43) заключается в протягивании заготовки через плавно сужающийся канал волоки. При этом поперечные размеры заготовки уменьшаются, а ее длина увеличивается. Заготовку для волочения получают путем сортовой прокатки или прессования. Сила, под действием которой происходит протягивание металла, называется силой волочения  $P_v$ . В процессе волочения на заготовку со стороны волоки действуют нормальная сила  $N$  и сила трения  $T$ , направленные в противоположную сторону от силы волочения.

Под действием силы волочения заготовка деформируется и принимает форму и размеры наименьшего сечения канала волоки. В результате площадь поперечного сечения заготовки уменьшается, а длина увеличивается. Форма и размеры сечения изделия при волочении прутков, проволоки, профилей сплошного сечения и труб без утонения стенки определяются только конфигурацией и размерами калибрующей зоны канала волоки

Волочением обрабатывают самые различные материалы: стали, алюминий, медь, никель, титан и сплавы на их основе, тугоплавкие металлы и их сплавы, а также благородные металлы и сплавы на их основе.

Получаемые волочением полуфабрикаты представляют собой круглую проволоку диаметром 0,008–17 мм; проволоку квадратного, прямоугольного, шестиугольного и других сечений; прутки круглые, квадратные, шестигранные, трапециевидные и других форм; трубы круглые диаметром 0,3–500 мм со стенкой толщиной 0,05–25 мм, овальные, прямоугольные и другие. Кроме того, этим способом обработки давлением можно получить фасонные профили с различной формой поперечного сечения и самых разных размеров.

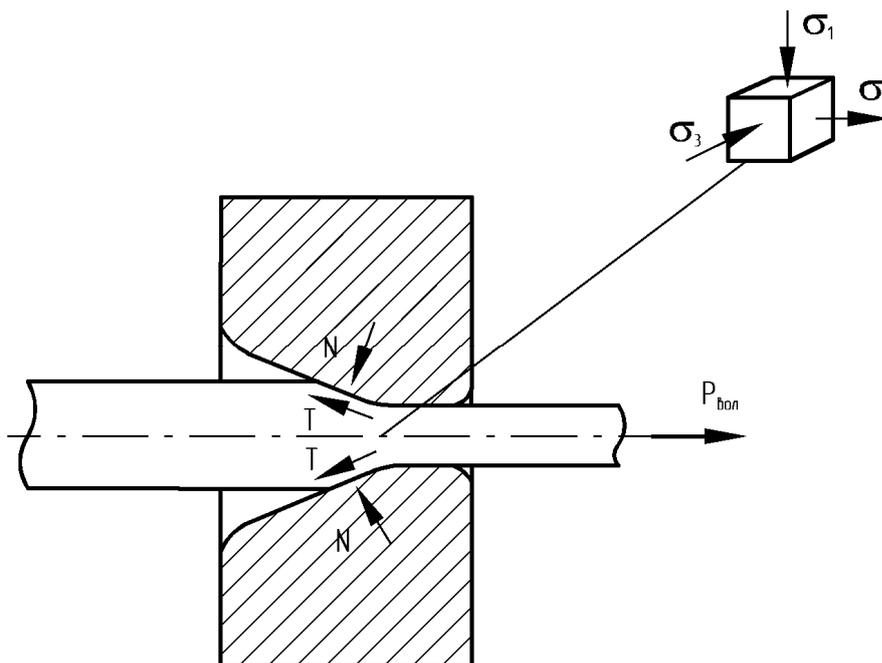


Рис. 43. Схема процесса и силы, действующие на металл при волочении

При волочении используют следующие показатели деформации: коэффициент вытяжки, относительное обжатие, относительное удлинение, интегральная (логарифмическая) деформация.

Коэффициент вытяжки  $\mu$  показывает, во сколько раз увеличилась длина или уменьшилась площадь поперечного сечения изделия за переход волочения:

$$\mu = \frac{L_1}{L_0} = \frac{F_0}{F_1}, \quad (51)$$

где  $L_0$  и  $F_0$  – соответственно, длина и площадь сечения заготовки до волочения, а  $L_1$  и  $F_1$  – после волочения;

Относительное обжатие  $\varepsilon$  – это отношение уменьшения площади поперечного сечения изделия за переход волочения к ее начальному значению:

$$\varepsilon = \frac{F_0 - F_1}{F_0} 100 \%. \quad (52)$$

Относительное удлинение  $\lambda$  – отношение увеличения длины изделия за переход к ее начальному значению:

$$\lambda = \frac{L_1 - L_0}{L_0} 100 \%. \quad (53)$$

Интегральная (логарифмическая) деформация – натуральный логарифм соотношения площадей поперечного сечения изделия до и после перехода волочения равна

$$i = \ln \left( \frac{F_0}{F_1} \right), \quad (54)$$

или

$$i = \ln \mu = \ln \left( \frac{1}{1 - \varepsilon} \right) = \ln(\lambda + 1). \quad (55)$$

Сила волочения  $P_B$  – это продольная сила, приложенная к протягиваемому металлу у выхода его из волоки. Это один из основных параметров, характеризующих совершенство технологического процесса. Чем меньше сила волочения, тем меньше напряжение волочения и, следовательно, тем меньше опасность обрывов, ниже расход энергии на деформацию металла, меньше давление протягиваемого металла на стенки рабочей зоны волоки и, как следствие этого, меньший износ волоки. Величину силы волочения можно определить либо экспериментально, либо аналитически. Для экспериментального определения силы волочения путем аналитических вычислений существует много различных формул. Наиболее простой и вполне пригодной формулой для определения силы при волочении прутков и проволоки является формула Петрова:

$$P_B = \sigma_B (F_0 - F_1) (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha), \quad (56)$$

где  $P_B$  – сила волочения, Н;  $\sigma_B$  – среднее сопротивление деформации, МПа,

$$\sigma_B = \frac{\sigma_{BH} + \sigma_{BK}}{2},$$

где  $\sigma_{BH}$ ,  $\sigma_{BK}$  – временное сопротивление разрыву металла, соответственно, до и после волочения, МПа;  $F_0$ ,  $F_1$  – площади поперечного сечения проволоки до и после волочения, мм<sup>2</sup>;  $\lambda$  – коэффициент вытяжки,  $\lambda = D_H^2/D_K^2$ ;  $D_H$ ,  $D_K$  – диаметр проволоки до и после деформации, мм;  $\mu$  – коэффициент трения (при смазке машинным маслом  $\mu = 0,10-0,12$ );  $\alpha$  – угол волоки в градусах.

Если силу волочения отнести к площади поперечного сечения изделия на выходе из волоки  $F_K$ , то получим напряжение волочения  $k_B$ .

Напряжение волочения должно быть меньше сопротивления деформации металла в его состоянии после волочения  $S_{д.к}$ . В противном случае пластическая деформация может происходить и после выхода металла из волоки. Это приведет к искажению формы поперечного сечения изделия после волочения и в конечном счете может произойти его обрыв. Поэтому при волочении обязательно должно соблюдаться условие

$$k_B = \frac{P_B}{F_K} < S_{д.к}. \quad (57)$$

Условие волочения без обрывов записывается следующим образом:

$$j_3 = \frac{S_{д.к}}{k_B} > 1, \quad (58)$$

где  $j_3$  – коэффициент запаса.

В расчетах вместо величины  $S_{д.к}$  можно использовать временное сопротивление разрыву материала после волочения  $\sigma_{в}$ .

На практике коэффициент запаса обычно меняется от 1,35 до 2,0 (иногда до 2,5). При этом, чем тоньше изделие и выше требования к качеству его поверхности и точности размеров, тем коэффициент запаса должен быть больше. Поэтому максимальной величины  $j_3$  достигает в последнем калибровочном проходе, в котором изделию придается окончательная форма и размеры.

На силу и напряжение волочения влияют многие факторы: степень деформации за переход; прочностные свойства протягиваемого металла; геометрия продольного профиля канала волоки; трение на контактных поверхностях деформируемого металла и инструмента; форма конечного и начального поперечного сечений изделия; противонапряжение; вибрация инструмента.

### Методика проведения работы

1. Взять четыре образца из латунной отожженной проволоки и измерить их диаметр.

2. Концы трех образцов заострить для пропускания через канал волоки и соединения с захватом испытательной машины.

3. Смазать поверхность проволоки смазкой и начать волочение на испытательной разрывной машине. При установившемся процессе волочения измерить силу волочения по шкале прибора. После окончания волочения измерить диаметр образцов.

4. Произвести испытание на разрыв исходного и трех протянутых образцов, измерить силу разрыва, вычислить временное сопротивление разрыву по формуле

$$\sigma_{в} = \frac{P_{р}}{F_1}, \quad (59)$$

где  $P_{р}$  – сила разрыва, Н;  $F_1$  – площадь поперечного сечения образца, мм<sup>2</sup>.

4. Подсчитать силу волочения по формуле (34) для каждой протяжки и сравнить ее с экспериментальной.

5. На основании экспериментальных данных подсчитать напряжение волочения и коэффициент запаса по формуле (33).

6. Все данные свести в табл. 26.

7. Построить график зависимости  $\sigma_{в} = f(\lambda)$ .

Таблица 26

Диаметр проволоки, мм		$\lambda$	$P_p$ , Н	$\sigma_b$ , МПа	$\alpha$ , град	Сила волочения $P_p$ , Н		$p$ , МПа	$\gamma_z$
$D_n$	$D_k$					расчетная	экспериментальная		

### Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение процесса волочения.
2. Назовите виды продукции, получаемые волочением.
3. Каковы параметры деформации при волочении?
4. Каково влияние различных параметров на силу и напряжение волочения?
5. Каков инструмент для волочения?
6. Каково оборудование для волочения?
7. Каково влияние режимов волочения на свойства металлов?

## Лабораторная работа 7

### Объемная штамповка в открытых и закрытых штампах

#### Краткие теоретические сведения

При горячей объемной штамповке течение металла принудительно ограничивается поверхностями инструмента (полостями ручьев штампа), что вызывает перераспределение объема заготовки. Заготовка, деформируясь в ручьях, заполняет их и принимает форму штампованной поковки.

Помимо высокой производительности по сравнению с ковкой, штамповка обеспечивает получение поковок с высокой точностью размеров, что уменьшает расход металла на изготовление детали и снижает трудоемкость при последующей обработке металла резанием. Кроме того, этот вид обработки металлов давлением способствует получению поверхности поковок высокого качества. Последующие за горячей штамповкой отделочные операции (например, калибровка в холодном состоянии) повышают качество поверхности поковок, а допуски размеров при этом снижаются. Поэтому все повышенные расходы на штамповку и изготовление инструмента окупаются экономией металла и расходами на механическую обработку поковок. Вместе с тем штамповкой возможно получение изделий весьма сложной формы, во многих случаях не выполнимых ковкой без напусков.

Штамповкой изготавливают поковки преимущественно массой до 100 кг, однако производят поковки массой и до 400–500 кг и даже до 2 т.

Применяют два вида штамповки (рис. 44): облойную (с заусенцем) в открытых штампах (рис. 44, *а*) и безоблойную (при отсутствии заусенца) в закрытых штампах (рис. 44, *б*).

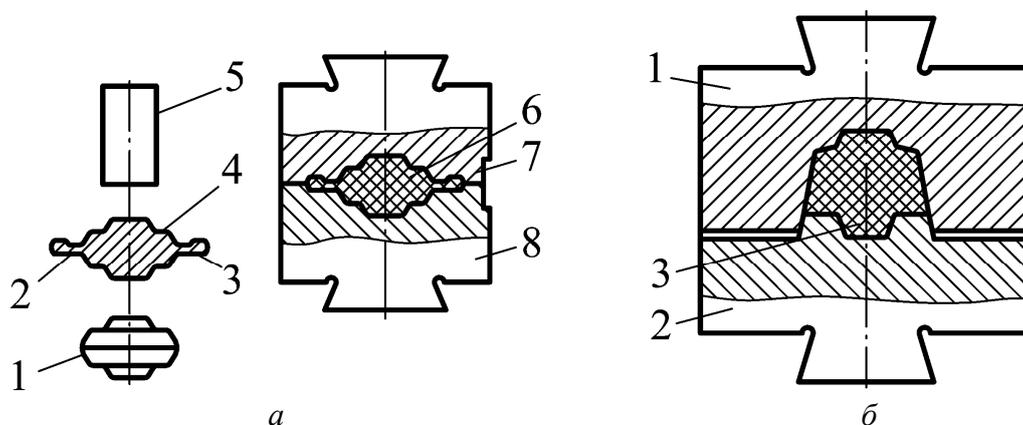


Рис. 44. Штампы для горячей штамповки на молоте:  
*а* – открытый; *б* – закрытый

При облойной одноручьевой штамповке поковки 1 получают из цилиндрической заготовки 5 в штампе, состоящем из двух частей: верхней 7, прикрепляемой к бабе, и нижней 8, прикрепляемой к штамподержателю и шаботу молота. Для облегчения выемки поковок боковые поверхности ручьев делают с уклонами  $\alpha = 3-12^\circ$ . Нагретую заготовку 5 укладывают в нижнюю половину штампа на торец. При деформации металл заполняет ручей, формируя черновую поковку 4. При облойной штамповке заусенец 2, 3 образуется по месту разъема штампа из-за избытка металла. Начало появления заусенца опережает заполнение металлом ручьев штампа. При последующем уменьшении зазоров штампа заусенец создает подпор по контуру поковки, что способствует заполнению металлом углов штампа, т.е. облой выполняет определенную технологическую функцию. Заусенечную щель между частями штампа выполняют в виде специальной канавки по периметру поковки. После деформации облой удаляется на обрезных штампах. Облойная штамповка имеет широкое применение, так как надежно обеспечивает заполнение полостей штампа.

При безоблойной штамповке в закрытом штампе заготовку помещают в полости нижней части штампа 2 и процесс деформирования выполняют верхней частью. Небольшой заусенец, который может образоваться по плоскости разъема, не влияет на процесс штамповки и является результатом неточности размеров заготовки. Для удаления поковки 3 из штампа применяют выталкиватели или стенки штампа изготавливают с уклоном. Основным преимуществом безоблойной штамповки является пониженный расход металла.

Сортамент штамповок, получаемых в открытых штампах, более широкий. Оба метода предусматривают штамповку в одном или нескольких ручьях.

При закрытой штамповке объем заготовки должен быть равен объему полости ручья, поэтому допуски на прокатку и разделку заготовок должны быть минимальными, незначительными. Получить абсолютно точные по объему заготовки для закрытой штамповки практически невозможно и не имеет смысла, так как по мере износа ручья штампа объем его полости, увеличивается. Излишки металла в случае большого объема заготовки вытесняются в зазоры по месту сопряжения частей штампов, а также в специальную полость (компенсатор), выполненную в какой-либо части ручья штампа. Закрытая штамповка позволяет экономить металл. Кроме того, при закрытой штамповке отпадает необходимость проводить обрезку облоя.

При открытой штамповке деформация металла происходит по менее жесткой схеме трехосного сжатия, чем при закрытой штамповке, у которой возможность для вытеснения металла за пределы полости весьма ограничена. Как следствие, величина удельного усилия при открытой штамповке бывает несколько меньше, чем при закрытой. Общее усилие при штамповке складывается из усилия деформации металла в полости штампа и усилия, необходимого для обжатия заусенца в полости разъема штампа. Заусенец открытого штампа значителен по размеру и увеличивает фактическую площадь обжа-

тия, особенно у небольших поковок. Сопоставление общих усилий при открытой и закрытой штамповке одинаковых поковок показывает различные результаты в зависимости от того, какова величина добавочного усилия для обжатия заусенца в открытом штампе.

Чем больше относительная доля заусенца в общей площади поковки, тем больше общее усилие, необходимое для штамповки в открытом штампе. Для уменьшения нормального напряжения на заусенце можно предусмотреть его более толстым, что благоприятно скажется на стойкости штампа, однако, в этом случае возрастают отходы металла, так как при увеличении величины заусенца ширина его также должна быть увеличена для обеспечения торможения при вытеснении избыточного металла в заусеничную канавку. Учитывая, что на долю металла в себестоимости поковок приходится 60–80 %, объем заусенца устанавливают по возможности наименьшим (10–15 % от массы поковки).

Закрытая штамповка позволяет экономить этот металл. Кроме того, при закрытой штамповке отпадает необходимость проводить обрезку облоя.

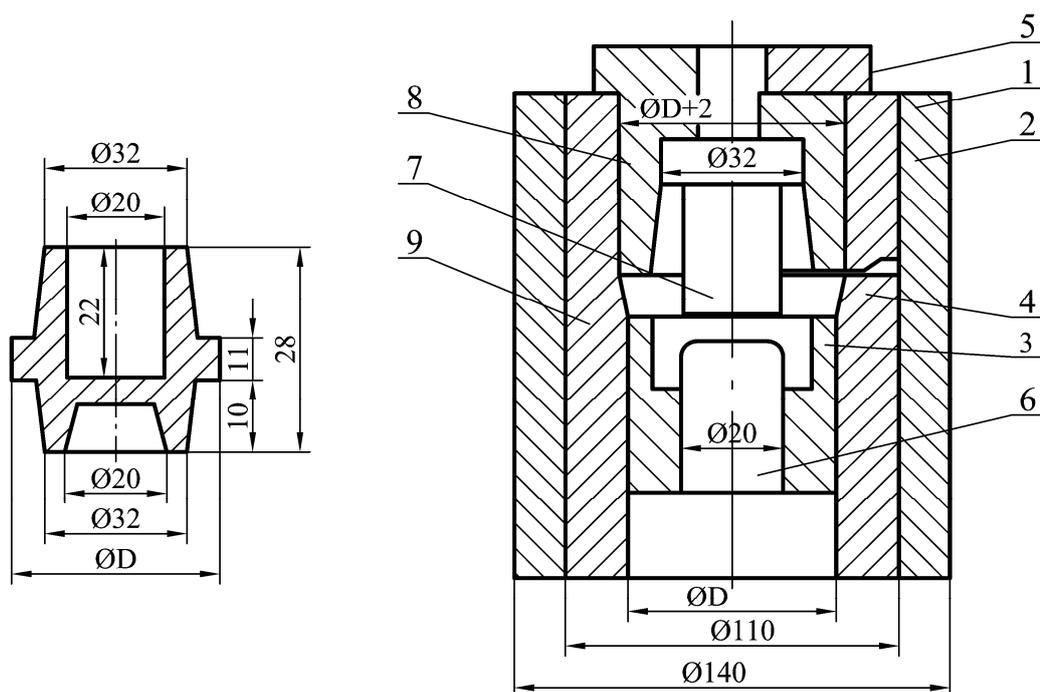


Рис. 45. Чертежи поковки и приспособления для открытой и закрытой штамповки

Для выполнения данной работы используется приспособление, имитирующее штамп (рис. 45). Приспособление включает в себя: 1 – стакан направляющий; 2 – вставку верхнюю; 3 – вставку нижнюю; 4 – обойму нижнюю; 5 – обойму верхнюю; 6, 7 – вкладыши; 8 – вставку; 9 – втулку промежуточную.

### Методика проведения работы

1. По чертежу поковки (рис. 45) определить ее объем. Эта операция выполняется подсчетом элементарных объемов, составляющих заготовку. Объем заготовки для открытой штамповки найти из соотношения  $V_{\text{заг}} = 1,2 V_{\text{пок}}$ .

2. Выбрать высоту цилиндрической свинцовой заготовки диаметром 50 мм.

3. Последовательно провести штамповку с использованием штампа для открытой и закрытой штамповки. В процессе опыта фиксировать усилие штамповки.

Все данные свести в табл. 27.

Таблица 27

Вид штамповки	Площадь поковки $F, \text{мм}^2$	Объем поковки, $\text{мм}^3$		Усилие штамповки, $P, \text{кН}$
		без облоя	с облоем	

### Контрольные вопросы и задания

1. Какова объемная штамповка в открытых штампах?
2. Какова объемная штамповка в закрытых штампах?
3. Сравните процессы ковки и объемной штамповки.
4. Какой инструмент используется для объемной штамповки?
5. Какое оборудование используется для объемной штамповки?
6. Какова технология объемной штамповки?

## Лабораторная работа 8

### Листовая штамповка

#### Краткие теоретические сведения

*Листовая штамповка* – это процесс получения из листа, полосы, ленты изделий плоской или пространственной формы с заданными конструктивно-геометрическими и структурными параметрами без существенного изменения толщины материала. Процессы листовой штамповки основаны на использовании пластичности обрабатываемых материалов и их упрочнения при обработке. Они обеспечивают точность и стабильность размеров изготавливаемых деталей, что является основным условием их взаимозаменяемости (при достаточной прочности и минимальной массе), позволяющем снижать массу отдельных конструкций и узлов машины. Благодаря этим достоинствам, а также высокому коэффициенту использования металла, листовая штамповка находит широкое применение как в массовом, так и в мелкосерийном производстве.

На дальнейшее развитие технологии листовой штамповки влияют непрерывный рост производства изделий во многих отраслях промышленности, расширение номенклатуры изготавливаемых деталей, специализация производства. Изделия, полученные листовой штамповкой, находят широкое применение в авиационной, автомобильной, тракторной промышленности, производстве товаров массового потребления и других отраслях промышленности. Номенклатура штампуемых деталей постоянно растет в связи с возможностью изготовления импульсными методами (взрывом, электрогидравлической штамповкой) крупногабаритных деталей, а также необходимостью изготовления мелких деталей из материала толщиной 0,005–0,1 мм.

Для листовой штамповки применяют черные и цветные металлы и сплавы, которые поступают на машиностроительный завод в виде проката (листов, полос и лент). Выбор марки металла или сплава, вида проката, требования к их качеству должны соответствовать условиям эксплуатации детали и требованиям технологии листовой штамповки, т. е. необходимо, чтобы материал удовлетворял заданному комплексу эксплуатационных и технологических свойств. Чем в большей степени конструкция детали удовлетворяет требованиям технологии, тем выше технологичность ее изготовления. Основные параметры, определяющие технологичность конструкции, – это материал, форма и размеры детали, требования к ней по точности размеров, шероховатости поверхности и качеству в целом.

При выборе материала и технологии штамповки необходимо учитывать также технологичность конструкции штампованной заготовки (т.е. после штамповки) при последующей обработке и отделке: обработке резанием, клепке, пайке, сварке, нанесении соответствующих покрытий химическим или электрохимическим путем. Главной характеристикой технологичности

конструкции детали является физическая природа материала, от которой зависят его технологические свойства: пластичность, сопротивление деформации, интенсивность деформационного упрочнения. Значительное влияние на процесс листовой штамповки полых и других сложных по форме деталей оказывает анизотропия.

Различные фазы процесса изготовления детали, при которых происходит изменение формы заготовки, называют операциями. Операции листовой штамповки делят на разделительные, формоизменяющие, прессовочные и штамповочные.

Разделительные операции заключаются в отделении одной части металла от другой по замкнутому или не замкнутому контуру. К ним относятся отрезка, вырубка, пробивка, разрезка и др.

В результате проведения формоизменяющих операций из плоских или полых заготовок получают пространственные детали требуемой формы. К этой группе относятся гибка, вытяжка, отбортовка и др.

Рассмотрим некоторые операции.

Вырубка – это процесс отделения одной части материала от другой по замкнутому или незамкнутому контуру, производимый с помощью штампов на механических или гидравлических прессах. При этом отделяемая часть металла является изделием, а оставшаяся – отходом (рис. 46).

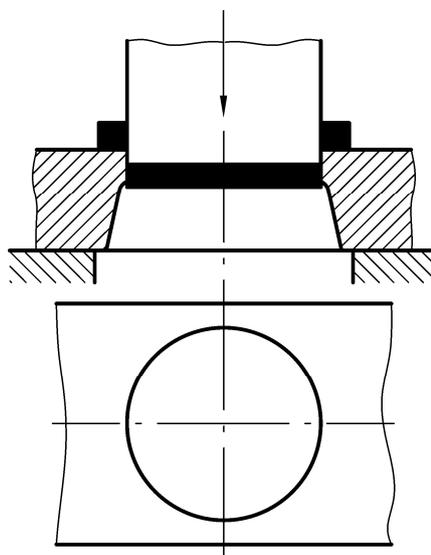


Рис. 46. Схема операции вырубка

В процессе вырубки большое значение имеет зазор между пуансоном и матрицей. Он влияет на качество вырубленной детали, величину усилия вырубки, стойкость штампа. При вырубке с увеличением зазора происходит искривление детали, а недостаточный зазор приводит к сильному износу пуансона и матрицы. Поэтому при вырубке применяют оптимальный зазор  $Z$ , который может быть определен по формуле

$$Z = A \cdot S^2 + B \cdot S, \quad (60)$$

где  $S$  – толщина разрезаемого металла, мм;  $A, B$  – коэффициенты, значения которых даны в табл. 28.

Таблица 28

Коэффициент	Состояние металла			
	мягкий	полутвердый	твердый	закаленный
A	0,008	0,009	0,01	0,03
B	0,01	0,06	0,08	0,2

Силу вырубки  $P_B$  определяют по формуле

$$P_B = S \Pi \sigma_c K, \text{ Н}, \quad (61)$$

где  $S$  – толщина разрезаемого металла, мм;  $\Pi$  – периметр вырубленной заготовки,  $\Pi = \pi D$ , мм;  $\sigma_c$  – сопротивление срезу, МПа;  $K$  – опытный расчетный коэффициент, принимаемый равным 1,3.

Сопротивление срезу может быть выбрано для некоторых сплавов из табл. 29.

Таблица 29

Металл или сплав	$\sigma_c$ от состояния металла, МПа	
	мягкий	твердый
Медь М1, М2, М3	180–220	250–380
Латунь Л63, Л68	220–300	350–400
Алюминий А1, А2, А3	70–90	110–150

Вытяжка – это процесс превращения полой или плоской заготовки в полое изделие, открытое сверху (рис. 47).

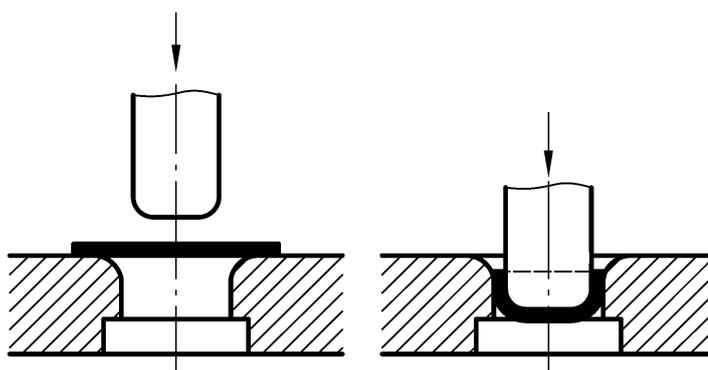


Рис. 47. Схема операции вытяжка

Различают вытяжку без утонения стенок и с утонением стенок.

Деформацию при вытяжке характеризует коэффициент вытяжки, определяемый следующим образом:

$$m = d / D, \quad (62)$$

где  $d$  – диаметр детали, мм;  $D$  – диаметр заготовки, мм.

Коэффициент вытяжки,  $a$ , следовательно, условие протекания процесса зависят от зазора между пуансоном и матрицей.

Силу  $P$ , которую необходимо приложить для превращения плоской заготовки в полое тело, называют силой вытяжки и рассчитывают по формуле:

$$P = 1,1 \cdot \pi \cdot d \cdot \sigma_b \cdot \ln \frac{1}{m}, \text{ Н}, \quad (63)$$

где  $S$  – толщина металла, мм;  $\sigma_b$  – временное сопротивление разрыву,  $\sigma_b = (1,2-1,3) \sigma_c$ , МПа;  $d$  – наружный диаметр детали, мм.

### Методика проведения работы

1. Из алюминиевой, латунной или медной заготовок вырубить на штампе три кружка с разными диаметрами. Замерить силу вырубки.
2. Измерить толщину полученных заготовок  $S$ .
3. Определить силу вырубки по формуле (61) и сравнить ее с замеренной.
4. Из круглых в плане заготовок провести вытяжку стаканов с замером силы вытяжки.
5. Рассчитать коэффициент вытяжки по формуле (62), силу вытяжки по формуле (63) и сравнить с замеренной.
6. Все данные занести в табл. 30.

Таблица 30

Материал	$D$ , мм	Сила вырубки $P_b$ , Н		$d$	$m$	Сила вытяжки, Н		Примечание
		экспериментальная	расчетная			экспериментальная	расчетная	

### Контрольные вопросы и задания

1. Какова классификация видов листовой штамповки?
2. Каковы определения и схемы основных видов листовой штамповки?
3. Назовите виды продукции, получаемой листовой штамповкой.
4. Какое оборудование используется для листовой штамповки?
5. Какой инструмент используется для листовой штамповки?
6. Какова технология листовой штамповки?

# БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

## Раздел 1

1. Непрерывное литье алюминиевых сплавов: справ. / В. И. Напалков, Г. В. Черепок, С. В. Махов, Ю. М. Черновол. – М. : Интермет Инжиниринг, 2005. – 512 с.
2. Горшков, И. Е. Литье слитков цветных металлов и сплавов / И. Е. Горшков. – 2-е изд., доп. и перераб. – М. : Государственное науч.-тех. изд-во лит-ры по черной и цветной металлургии, 1952. – 416 с.
3. Титов, Н. Д. Технология литейного производства / Н. Д. Титов. – М. : Машиностроение, 1968. – 388 с.
4. Степанов, Ю. А. Технология литейного производства: Специальные виды литья : учеб. для вузов по специальности «Машины и технология литейного производства» / Ю. А. Степанов, Г. Ф. Баландин, В. А. Рыбкин; под ред. Ю. А. Степанова. – М. : Машиностроение, 1983. – 287 с.
5. Могилев, В. К. Справочник литейщика : справ. для профессионального обучения рабочих на производстве / В. К. Могилев, О. И. Лев. – М. : Машиностроение, 1988. – 272 с.
6. Трухов, А. П. Литейные сплавы и плавка : учеб. для студентов высш. учеб. заведений / А. П. Трухов, А. И. Маляров. – М. : Издат. центр «Академия», 2005. – 336 с.
7. Леви, Л. И. Литейные сплавы / Л. И. Леви, С. К. Кантеник. – М. : Выш. шк., 1967. – 436 с.
8. Справочник по чугунному литью / под ред. Н. Г. Гиршовича. – М.–Л. : Машиностроение, 1978. – 758 с.
9. Леви, Л. И. Основы теории металлургических процессов и технология плавки литейных сплавов / Л. И. Леви, Л. М. Мариенбах. – М. : Машиностроение, 1970. – 495 с.
10. Воскобойников, В. Г. Общая металлургия : учеб. для вузов / В. Г. Воскобойников, В. А. Кудрин, А. М. Якушев. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Металлургия, 1985. – 480 с.
11. Сафронов, В. Я. Справочник по литейному оборудованию / В. Я. Сафронов. – М. : Машиностроение, 1985. – 320 с.
12. Аксенов, П. Н. Оборудование литейных цехов / П. Н. Аксенов. – М. : Машиностроение, 1977. – 510 с.
13. Технология литейного производства: Литье в песчаные формы : учеб. для студ. высш. учеб. заведений / А. П. Трухов [и др.]; под ред. А. П. Трухова. – М.: Издат. центр «Академия», 2005. – 528 с.
14. Гини, Э. Г. Технология литейного производства: Специальные виды литья : учеб. для студ. высш. учеб. заведений / Э. Г. Гини. – М. : Издат. центр «Академия», 2005. – 350 с.
15. Глухов, В. В. Основы технологий отраслей национальной экономики : учеб. пособие / В. В. Глухов, Л. Б. Гущина. – СПб. : Изд-во политехн. ун-та, 2004. – Ч. I. – 466 с.

## Раздел 2

1. Константинов, И. Л. Основы обработки металлов давлением : учеб. пособие / И. Л. Константинов; ГУЦМиЗ. – Красноярск, 2004. – 116 с.
2. Сторожев, М. В. Теория обработки металлов давлением / М. В. Сторожев, Е. А. Попов. – М. : Машиностроение, 1977. – 423 с.
3. Грудев, А. П. Теория прокатки / А. П. Грудев. – М. : Metallurgy, 1988. – 240 с.
4. Суворов, И. К. Обработка металлов давлением / И. К. Суворов. – М. : Высш. шк., 1980. – 364 с.
5. Мастеров, В. А. Теория пластической деформации металлов давлением / В. А. Мастеров, В. С. Берковский. – М. : Metallurgy, 1989. – 400 с.
6. Грабарник, Л. М. Прессование цветных металлов и сплавов и сплавов / Л. М. Грабарник, А. А. Нагайцев. – М. : Metallurgy, 1991. – 342 с.
7. Ерманок, М. З. Волочение цветных металлов и сплавов / М. З. Ерманок, Л. С. Ватрушин. – М. : Metallurgy, 1988. – 288 с.
8. Семенов, Е. И. Технология и оборудованиековки и объемной штамповки / Е. И. Семенов, В. Г. Кондратенко, Н. И. Ляпунов. – М. : Машиностроение, 1978. – 310 с.
9. Зубцов, М. Е. Листовая штамповка / М. Е. Зубцов. – Л. : Машиностроение, 1980. – 432 с.
10. Головин, В. А. Технология и оборудование холодной штамповки / В. А. Головин, Г. С. Ракошиц, А. Г. Навроцкий. – М. : Машиностроение, 1987. – 352 с.