



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО МОРСКОГО И РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова»  
(ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»)

**АРКТИЧЕСКИЙ МОРСКОЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ В.И. ВОРОНИНА**  
– филиал ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»

Является приложением к рабочей программе

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
для проведения текущего контроля знаний и промежуточной аттестации  
по учебной дисциплине  
**ОП.04 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**  
общепрофессионального учебного цикла  
программы подготовки специалистов среднего звена  
по специальности  
**26.02.05 Эксплуатация судовых энергетических установок**  
базовой подготовки

Архангельск  
2020

Разработчик:

Селихов А.Д., преподаватель Арктического морского института имени  
В.И. Воронина – филиала ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»

## СОДЕРЖАНИЕ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	4
1.1. Паспорт комплекта оценочных средств	4
2. РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	5
3. КОМПЛЕКТ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ	6
3.1. Задания для проведения текущего контроля	6
3.1.1. Вопросы для устного опроса	6
3.1.2. Практические работы	13
3.1.3. Тестирование	72
3.2. Задания для проведения промежуточной аттестации	75
3.2.1. Задания для проведения экзамена	75

## 1. Общие положения

### 1.1. Паспорт комплекта оценочных средств

Назначение:

Контрольно-оценочные средства предназначены для контроля и оценки результатов освоения учебной дисциплины ОП.04 Материаловедение, сформированности профессиональных (далее – ПК) и общих (далее – ОК) компетенций.

Предметы оценивания	Объекты оценивания	Показатели оценки
ПК 1.1. Обеспечивать техническую эксплуатацию главных энергетических установок судна, вспомогательных механизмов и связанных с ними систем управления	Умение 1 - анализировать структуру и свойства материалов; Умение 3 - давать характеристику сплавам; Знание 1 - строение и свойства конструкционных эксплуатационных материалов, применяемых при ремонте, эксплуатации и техническом обслуживании; Знание 2 - сущность явлений, происходящих в материалах в условиях эксплуатации изделия	- демонстрация умения давать характеристику сплавам
ПК 1.2. Осуществлять контроль выполнения национальных и международных требований по эксплуатации судна	Умение 1 - анализировать структуру и свойства материалов; Умение 2 - строить диаграммы состояния двойных сплавов Знание 1 - строение и свойства конструкционных эксплуатационных материалов, применяемых при ремонте, эксплуатации и техническом обслуживании; Знание 2 - сущность явлений, происходящих в материалах в условиях эксплуатации изделия	- демонстрация умения пользоваться технической документацией, справочной литературой с целью выполнения требований по эксплуатации судна
ПК 1.3. Выполнять техническое обслуживание и ремонт судового оборудования	Умение 1 - анализировать структуру и свойства материалов; Умение 3 - давать характеристику сплавам; Знание 1 - строение и свойства конструкционных эксплуатационных материалов, применяемых при ремонте, эксплуатации и техническом обслуживании; Знание 3 - современные способы	- демонстрация умения использовать знание механических, физических, химических и технологических свойств материалов, маркировки материалов по ГОСТу, методов дефектоскопии, механических испытаний, обработки металлов давлением, резанием,

Предметы оценивания	Объекты оценивания	Показатели оценки
	получения материалов и изделий из них с заданным уровнем эксплуатационных свойств,	сваркой и резкой материалов, способов термической и химико-термической обработки;
ПК 1.4. Осуществлять выбор оборудования, элементов и систем оборудования для замены в процессе эксплуатации судов	Знание 1 - строение и свойства конструкционных эксплуатационных материалов, применяемых при ремонте, эксплуатации и техническом обслуживании; Знание 4 - сварочное производство, технологические процессы обработки	- демонстрация умения использовать знания методов дефектоскопии, механических испытаний, обработки металлов давлением, резанием, сваркой и резкой материалов
ПК 1.5. Осуществлять эксплуатацию судовых технических средств в соответствии с установленными правилами и процедурами, обеспечивающими безопасность операций и отсутствие загрязнения окружающей среды	Умение 1 - анализировать структуру и свойства материалов; Знание 3 - современные способы получения материалов и изделий из них с заданным уровнем эксплуатационных свойств, Знание 4 - сварочное производство, технологические процессы обработки	- демонстрация умения использовать знание свойств материалов, неразрушающих методов дефектоскопии
ПК 2.1. Организовывать мероприятия по обеспечению транспортной безопасности	Умение 1 - анализировать структуру и свойства материалов; Умение 3 - давать характеристику сплавам; Знание 1 - строение и свойства конструкционных эксплуатационных материалов, применяемых при ремонте, эксплуатации и техническом обслуживании; Знание 2 - сущность явлений, происходящих в материалах в условиях эксплуатации изделия	- демонстрация умения использовать знание механических, физических, химических и технологических свойств материалов, маркировки материалов по ГОСТу, дефектоскопии;
ПК 2.2. Применять средства по борьбе за живучесть судна	Умение 1 - анализировать структуру и свойства материалов; Знание 3 - современные способы получения материалов и изделий из них с заданным уровнем эксплуатационных свойств, Знание 4 - сварочное производство, технологические процессы обработки	- демонстрация умения применять различные методы дефектоскопии, исследования и контроля металлов и сплавов
ПК 2.3. Организовывать и обеспечивать действия подчиненных членов экипажа	Умение 1 - анализировать структуру и свойства материалов; Знание 4 - сварочное	- демонстрация умения использовать знание механических, физических,

<b>Предметы оценивания</b>	<b>Объекты оценивания</b>	<b>Показатели оценки</b>
судна при организации учебных пожарных тревог, предупреждения возникновения пожара и при тушении пожара	производство, технологические процессы обработки	химических и технологических свойств материалов при организации учебных пожарных тревог, предупреждения возникновения пожара и при тушении пожара
ПК 3.1. Планировать работу структурного подразделения	Умение 4 - организовать работу по обслуживанию и ремонту судовых технических средств с использованием знаний материаловедения и технологии механической обработки	- демонстрация умения организовать работу по обслуживанию и ремонту судовых технических средств с использованием знаний материаловедения и технологии механической обработки
ПК 3.2. Руководить работой структурного подразделения	Умение 6 - слушать и считаться с мнением коллег	- демонстрация умения организовать работу по обслуживанию и ремонту судовых технических средств с использованием знаний материаловедения и технологии механической обработки
ПК 3.3. Анализировать процесс и результаты деятельности структурного подразделения	Умение 7 - анализировать свою работу и ее результат	- демонстрация умения анализировать результаты работы подразделения по обслуживанию и ремонту судовых технических средств с использованием знаний материаловедения и технологии механической обработки
ПК 1.14 (К 9). Техническое обслуживание и ремонт судовых механизмов и оборудования	Умение 1 - анализировать структуру и свойства материалов; Умение 3 - давать характеристику сплавам; Знание 3 - современные способы получения материалов и изделий из них с заданным уровнем эксплуатационных свойств, Знание 4 - сварочное производство, технологические процессы обработки	- демонстрация знаний проектных характеристик и выбора материалов, используемых при изготовлении оборудования
ОК 1. Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес	Умение 8 – проявлять активность, инициативность в процессе освоения профессиональной деятельности	- демонстрация интереса к будущей профессии
ОК 2. Организовывать	Умение 9 - точно, правильно,	- обоснование выбора и

<b>Предметы оценивания</b>	<b>Объекты оценивания</b>	<b>Показатели оценки</b>
собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество	полно и своевременно выполнять задания, предусмотренные рабочей программой дисциплины	применения методов и способов решения профессиональных задач в области разработки технологических процессов; - демонстрация эффективности и качества выполнения профессиональных задач
ОК 3. Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность	Умение 10 - способность принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность при решении ситуационных задач, во время деловых игр или групповой работе	- демонстрация способности принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность
ОК 4. Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития	Умение 11 - осуществлять оперативный поиск и использовать необходимую информацию для качественного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития	- нахождение и использование информации для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития
ОК 5. Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности	Умение 12 - оперативно и точно выполнять различные задания с использованием общего и специализированного программного обеспечения	- демонстрация навыков использования информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности
ОК 6. Работать в команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями	Умение 13 - конструктивно взаимодействовать с обучающимися и преподавателями, соблюдать этические нормы в ходе обучения и при выполнении заданий	- взаимодействие с обучающимися, преподавателями и мастерами в ходе обучения
ОК 7. Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), результат выполнения заданий	Умение 14 - рационально организовывать деятельность и проявлять инициативу в условиях командной работы	- проявление ответственности за работу подчиненных, результат выполнения заданий
ОК 8. Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации	Умение 15 - результативность самостоятельной работы	- планирование обучающимся повышения личностного и квалификационного уровня

Предметы оценивания	Объекты оценивания	Показатели оценки
ОК 9. Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности	Умение 16 - объективность и обоснованность оценки возможностей новых технологий	- проявление интереса к инновациям в области профессиональной деятельности
ОК 10. Владеть письменной и устной коммуникацией на государственном и иностранном языке.	Умение 17 - аргументировано и грамотно говорить на государственном языке в процессе защиты практической или самостоятельной работы, касающейся выполнения обязанностей на судне и безопасности мореплавания	- способность вести общение с членами экипажа по вопросам, касающимся выполнения обязанностей на судне и безопасности мореплавания

## 2. Результаты освоения дисциплины

Результатом освоения учебной дисциплины ОП.04 Материаловедение является приобретение обучающимися знаний и умений, сформированность профессиональных и общих компетенций в соответствии с ФГОС СПО.

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) учебной дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
Раздел 1. Производство черных и цветных металлов			
1	Тема 1.1 Производство чугуна	У1, У2, У3, У8, У10, 31, 32, 33, 34, ПК 1.1, 1.2, ПК 1.14 (К 9), ОК 1, ОК 3	Устный опрос (вопросы № 1 - 4)
2	Тема 1.2 Производство стали	У1, У2, У3, У8, У10, 31, 32, 33, 34, ПК 1.1, 1.2, ПК 1.14 (К 9), ОК 1, ОК 3	Устный опрос (вопросы № 5 - 8)
3	Тема 1.3 Производство меди и алюминия	У1, У2, У3, У8, У10, 31, 32, 33, 34, ПК 1.1, 1.2, ПК 1.14 (К 9), ОК 1, ОК 3	Устный опрос (вопрос № 9)
Раздел 2. Основы металловедения и термической обработки			
4	Тема 2.1. Кристаллическое строение металлов	У1, У3, У8, 31, 32, 33, 34, ПК 1.1, ПК 1.14 (К 9), ОК 1	Устный опрос (вопросы № 10 - 11)
5	Тема 2.2. Основы теории сплавов	У1, У3, У8, 31, 32, 33, 34, ПК 1.1, ПК 1.14 (К 9), ОК 1	Устный опрос (вопросы № 12 - 14)
6	Тема 2.3. Фазовые и структурные составляющие железоуглеродистых сплавов	У1, У3, У8, У9, У10, У11 31, 32, 33, 34, ПК 1.1, ПК 1.14 (К 9), ОК 1 - 4	Устный опрос (вопросы № 12 - 14) Практическая работа № 1. Построение кривых



№ п/ п	Контролируемые разделы (темы) учебной дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
			охлаждения железоуглеродистых сплавов с различным содержанием углерода с использованием правила фаз
7	Тема 2.4. Построение и анализ диаграммы железо – углерод	У1, У3, У8, 31, 32, 33, 34, ПК 1.1, ПК 1.2, ПК 1.14 (К 9), ОК 1	Устный опрос (вопросы № 15 - 16)
8	Тема 2.5. Основные свойства металлов	У1, У3, У9, У10, У11, У14, 31, 33, 34, ПК 1.3, ПК 2.3, ПК 1.14 (К 9), ОК 2 - 4, ОК 7	Устный опрос (вопросы № 17 - 26) Практическая работа № 2. Испытание материалов на растяжение. Практическая работа № 3. Испытание металлов на ударную вязкость. Практическая работа № 4. Определение твердости металлов методами Бринелля и Роквелла
9	Тема 2.6. Классификация сталей, влияние примесей на свойства сталей	У1, У3, У9, У10, У14, У15, У16, У17, 31, 32, 33, ПК 1.3, ПК 2.1, ОК 2, ОК 4, ОК 7 - 10	Устный опрос (вопросы № 27 Практическая работа № 5. Определение маркировки углеродистых и легированных сталей по государственному стандарту
10	Тема 2.7. Классификация чугунов, их структура, свойства, применение. Сплавы на основе меди, алюминия, их свойства, применение	У1, У3, У9, У10, У14, У15, У16, У17, 31, 32, 33, ПК 1.3, ПК 2.1, ОК 2, ОК 4, ОК 7 - 10	Устный вопрос №28-30 Практическая работа № 6. Определение маркировки чугунов по государственному стандарту. Практическая работа № 7. Маркировка латуней, бронз, алюминиевых сплавов по государственному стандарту
11	Тема 2.8. Антифрикционные материалы	У1, У3, У9, У11, У14, 31, 32, 33, ПК 1.3, ПК 2.1, ОК 2, ОК 4, ОК 7	Устный опрос (вопрос №31)
12	Тема 2.9. Твердые сплавы. Металло- и минералокерамические изделия	У1, У3, У9, У11, У14, 31, 32, 33, ПК 1.3, ПК 2.1, ОК 2, ОК 4, ОК 7	Устный опрос (вопрос №32)

<b>№ п/п</b>	<b>Контролируемые разделы (темы) учебной дисциплины</b>	<b>Код контролируемой компетенции (или ее части)</b>	<b>Наименование оценочного средства</b>
13	Тема 2.10. Маркировка металлов и сплавов по государственному стандарту	У1, У3, У9, У11, У12, У17, 31, 32, 33, ПК 1.3, ПК 2.1, ОК 2, ОК 4 - 5, ОК 10	Устный опрос (вопрос № 27-32) Тестирование.
14	Тема 2.11. Основы термической обработки	У9, У10, У11, У15, У16, 31, 34, ПК 1.4, ОК 2 - 4, ОК 8 - 9	Устный опрос (вопросы № 33 - 35) практическая работа № 8. Выбор вида и режима термической обработки конкретных деталей
15	Тема 2.12. Химико-термическая обработка стали	У9, У10, У11, У15, У16, 31, 34, ПК 1.4, ОК 2 - 4, ОК 8 - 9	Устный опрос (вопросы № 36 - 38) Практическая работа № 9. Определение режима закалки и отпуска стали
16	<b>Раздел 3. Неметаллические материалы</b>		
17	Тема 3.1. Древесные и резиновые материалы	У1, У3, У9, У10, У11, 31, 33, 34, ПК 1.3, ПК 1.14 (К 9), ОК 2 - 4	Устный опрос (вопросы № 40 - 41)
18	Тема 3.2. Синтетические материалы	У1, У3, У9, У10, У11, 31, 33, 34, ПК 1.3, ПК 1.14 (К 9), ОК 2 - 4	Устный опрос (вопросы № 42-43)
19	Тема 3.3. Лакокрасочные и вяжущие материалы	У1, У3, У9, У10, У11, У13, У14, 31, 32, 33, 34, ПК 1.3, ПК 2.1, ПК 1.14 (К 9), ОК 2 - 4, ОК 6 - 7	Устный опрос (вопрос № 44)
20	<b>Раздел 4. Методы обработки материалов</b>		
21	Тема 4.1. Литейное производство	У9, У10, У11, 31, 34, ПК 1.4, ОК 2 - 4	Устный опрос (вопрос № 59 - 62)
22	Тема 4.2. Обработка металлов давлением	У9, У10, У11, 31, 34, ПК 1.4, ОК 2 - 4	Устный опрос (вопросы № 45 - 49) Практическая работа № 10. Определение методов обработки стали с помощью диаграмм охлаждения и нагрева деталей.
23	Тема 4.3. Обработка металлов резанием. Металлорежущие станки	У1, У9, У10, У11, У13, У14, 33, 34, ПК 1.4, ПК 1.5, ОК 2 - 4, ОК 6 - 7	Устный опрос (вопрос № 63)
24	Тема 4.4. Способы сварки плавлением и давлением	У1, У9, У10, У11, У13, У14, 31, 33, 34, ПК 1.4, ПК 2.2, ОК 2 - 4, ОК 6 - 7	Устный опрос (вопросы № 50 - 58)

### **3. Комплект оценочных средств**

Контроль качества освоения учебной дисциплины включает текущий контроль и промежуточную аттестацию.

Видами текущего контроля являются: устный опрос, выполнение практических и лабораторных работ.

Формой промежуточной аттестации по учебной дисциплине является экзамен.

#### **3.1. Задания для проведения текущего контроля**

##### **3.1.1. Вопросы для устного опроса**

1. Исходные материалы для производства чугуна.
2. Подготовка железных руд к плавке.
3. Устройство доменной печи.
4. Продукция доменного производства.
5. Производство стали в конвертерах.
6. Производство стали в мартеновских печах.
7. Производство стали в дуговых печах.
8. Производство стали в индукционных печах.
9. Производство меди.
10. Кристаллическое строение металлов.
11. Твёрдые растворы.
12. Химические соединения.
13. Механические смеси.
14. Диаграмма состояния для случая неограниченной растворимости компонентов в жидком и твёрдом состоянии.
15. Диаграмма состояния системы железо-углерод.
16. Правило фаз. Построение кривых охлаждения.
17. Основные свойства металлов.
18. Макроанализ и микроанализ.
19. Рентгеноструктурный и рентгенографический анализ.

20. Ультразвуковая дефектоскопия.
21. Мело-керосиновый метод дефектоскопии.
22. Испытания металлов на растяжение.
23. Определение твёрдости металлов методом Бринелля.
24. Определение твёрдости металлов методом Роквелла.
25. Испытания металлов на ударную вязкость.
26. Испытание металлов на усталость.
27. Классификация сталей. Влияние примесей на свойство сталей.
28. Классификация чугунов.
29. Сплавы на основе меди.
30. Сплавы на основе алюминия.
31. Антифрикционные материалы.
32. Твёрдые спечённые сплавы.
33. Основы термической обработки стали. Отжиг.
34. Основы термической обработки стали. Закалка.
35. Основы термической обработки стали. Отпуск.
36. Химико-термическая обработка стали. Цементация.
37. Химико-термическая обработка стали. Азотирование.
38. Химико-термическая обработка стали. Цианирование.
39. Химико-термическая обработка стали. Диффузионная металлизация.
40. Древесные материалы.
41. Резиновые материалы.
42. Синтетические материалы.
43. Пластмассы.
44. Лакокрасочные материалы.
45. Обработка металлов давлением. Прокатка.
46. Обработка металлов давлением. Волочение.
47. Обработка металлов давлением. Прессование.
48. Обработка металлов давлением. Штамповка.
49. Обработка металлов давлением. Ковка.

50. Ручная электродуговая сварка.
51. Автоматическая сварка под слоем флюса.
52. Сварка в среде защитных газов.
53. Плазменная сварка.
54. Электрошлаковая сварка.
55. Газовая сварка.
56. Электроконтактная сварка.
57. Ультразвуковая сварка.
58. Газовая и электрическая резка металлов.
59. Изготовление моделей и стержней в литейном производстве.
60. Литниковая система.
61. Центробежное литьё.
62. Литьё по выплавляемым моделям.
63. Виды и назначение металлорежущих станков.

### **3.1.2. Выполнение практических и лабораторных работ**

#### **Практические работы**

Текущий контроль и оценка знаний и умений обучающихся в форме практической или лабораторной работы проводится по темам, указанным в рабочей программе дисциплины. Работа выполняется на отдельных листах, с указанием курса, группы, фамилии обучающегося. Продолжительность работы не более 45 минут. Выполняется работа при полной самостоятельности и отсутствии учебной литературы, конспектов и т.п.

#### **Практическая работа № 1**

Тема: Построение кривых охлаждения железоуглеродистых сплавов с различным содержанием углерода с использованием правила фаз

*ЦЕЛЬ РАБОТЫ:* изучение диаграммы состояния железо-углерод и построение кривых охлаждения с использованием правила фаз.

*ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ:* муфельная печь СНОЛ-2,5; образцы углеродистой стали определенной формы; щипцы для загрузки образцов в печь, перчатки.

*ЗАДАЧИ РАБОТЫ:*

- изучение термических основ построения диаграмм состояния двойных сплавов;
- построение кривых нагрева и охлаждения образцов железоуглеродистых сплавов;
- построение участков диаграммы состояния железо-углерод; построение кривых нагрева и охлаждения по диаграмме состояния, железо-углерод;
- ориентировочная оценка физических, механических и технологических свойств заданного сплава.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОД

Диаграмма состояния (рис. 1) представляет собой графическое изображение; состояния сплавов в зависимости от температуры и концентрации компонентов. Она позволяет определить агрегатное состояние сплавов в заданном диапазоне интервалов температур и химического состава, а также компоненты, фазы и структурные составляющие в количественном и качественном отношении.

*Компоненты* - это составляющие сплавов, имеющие свои физические и механические свойства. Компонентами черных металлов являются железо Fe и углерод C.

*Фазой* называется однородная часть системы (сплава), имеющая свои физические и механические свойства, отделенная от других частей поверхностью раздела, при переходе через которую химический состав или структура сплава изменяются скачкообразно.

Диаграмма состояния показывает устойчивые состояния, т.е. состояния, которые при данных условиях обладают минимумом свободной энергии. Поэтому диаграмма состояния может также называться *диаграммой равновесия*, так как она показывает, какие при данных условиях существуют равновесные фазы. В соответствии с этим и изменения в состоянии, которые отражены на диаграмме,

относятся к равновесным условиям, т.е. при отсутствии перегрева или переохлаждения. Однако равновесные превращения в действительности не могут совершаться, поэтому диаграмма состояния представляет собой теоретический случай, а в практике используется для рассмотрения превращений при малых скоростях нагрева или охлаждения.

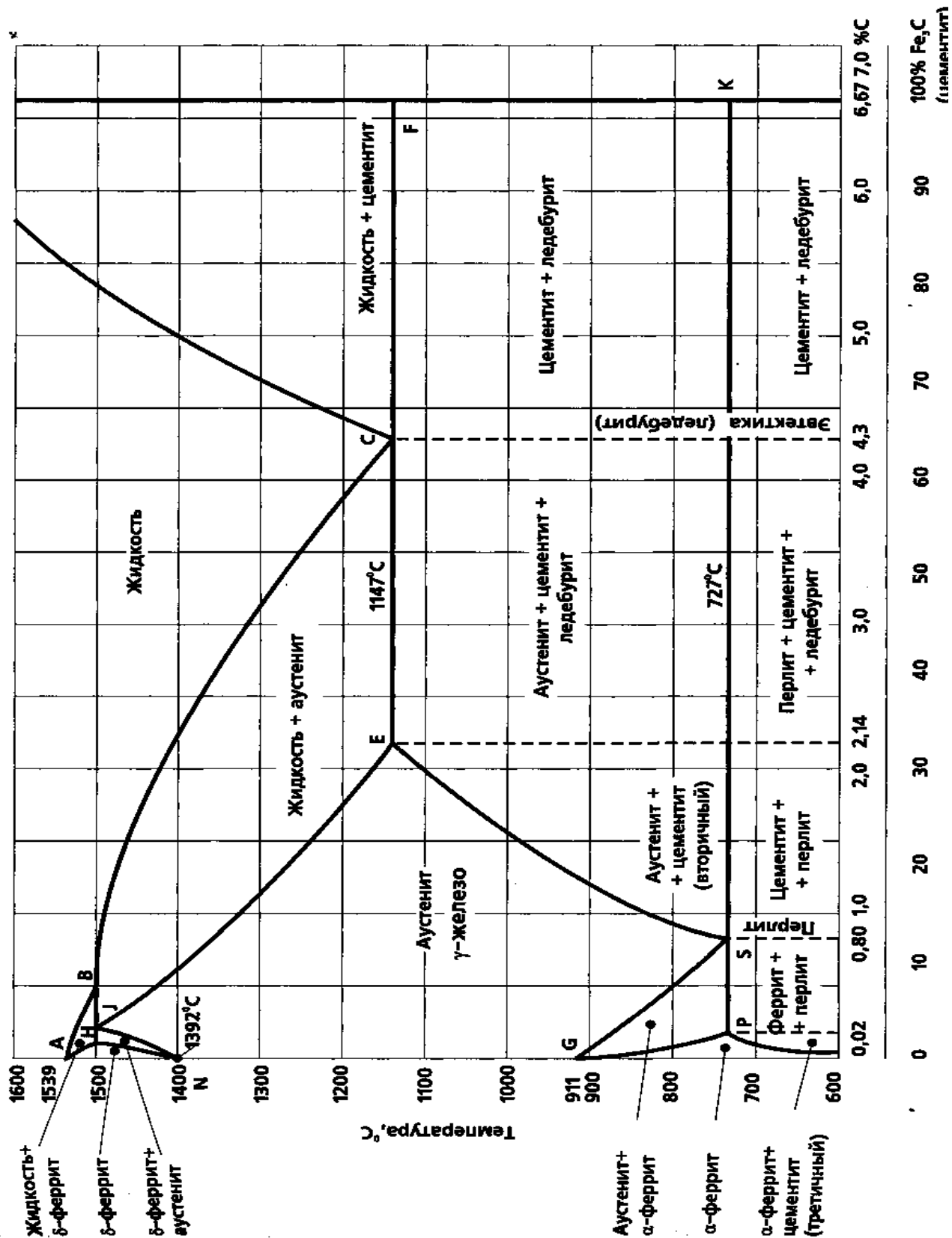


Рис. 1. Диаграмма состояния железо-углерод

Общие закономерности сосуществования устойчивых фаз, отвечающих теоретическим условиям равновесия, могут быть выражены в математической форме, именуемой правилом фаз, или законом Гиббса.



Правило фаз представляет собой математическое выражение условия равновесия системы, т.е. уравнение правила фаз показывает количественную зависимость между числом степеней свободы системы  $i$  и числом компонентов  $k$  и фаз  $f$ :

$$i = k - f + 1.$$

Следует знать, что под числом степеней свободы (вариантностью) системы понимают число внешних и внутренних факторов (температура, концентрация), которое можно менять без изменения числа фаз в системе.

Если число степеней свободы равно нулю (инвариантная система), то, очевидно, нельзя изменять внешние и внутренние факторы системы без того, чтобы это не вызвало изменения числа фаз. Если число степеней свободы равно единице (моновариантная система), то возможно изменение в некоторых пределах одного из перечисленных факторов, и это не вызовет уменьшения или увеличения числа фаз.

*Пример:* Определить число степеней свободы жидкого железоуглеродистого сплава, у которого при температуре ликвидус начали выпадать первичные кристаллы аустенита.

Число компонент в этом сплаве 2, т.е. железо и углерод. Число фаз тоже 2, т.е. жидкая фаза и твердая фаза кристаллов аустенита.

Т.о. число степеней свободы будет определено как:

$$i = 2 - 2 + 1 = 1.$$

Из ответа следует, что в данной системе существует одна степень свободы по температуре. Т.е. двухфазное состояние может существовать от температуры начала кристаллизации до температуры окончания кристаллизации.

## СТРУКТУРНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

Черные металлы представляют собой сплавы из двух компонентов железа и углерода (в данной работе не учитываются примеси и легирующие добавки), железо и углерод, неограниченно растворимые в жидком состоянии, в твердом образуют два типа твердых веществ - ограниченные твердые растворы внедрения

углерода в железе и химическое соединение - карбид железа. При этом первичным процессом является образование твердых растворов; карбид железа или цементит образуют атомы углерода, не растворившиеся в железе. Аллотропия железа приводит к образованию двух типов твердых растворов: высокотемпературного (аустенит) и низкотемпературного (феррит).

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКА СТРУКТУРНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

*Аустенит* - твердый раствор внедрения углерода в  $\gamma$ -железе. Обозначения - А или Fe- $\gamma$ . В растворенном состоянии в сплавах аустенит существует до 727°C. Максимальное содержание углерода в твердом растворе 2,14%. Твердость HB=160-200 кгс/мм<sup>2</sup>.

*Феррит* - твердый раствор внедрения углерода в  $\alpha$ -железе. Обозначение - Ф или Fe- $\alpha$ . Образуется при разложении аустенита ниже 911°C. Максимальное содержание углерода - 0,02%. Предел прочности 250 МПа; предел текучести 120 МПа; твердость HB=100-120 кгс/мм<sup>2</sup>; относительное удлинение - 50%.

*Цементит* - химическое соединение Fe<sub>3</sub>C. Обозначение - Ц. Температура плавления - 1600°C. Аллотропических изменений не испытывает. Содержание углерода - 6,67%. Предел прочности - 1450 МПа; предел текучести - 1400 МПа; твердость - HB=800 кгс/мм<sup>2</sup>; относительное удлинение - < 0,1%. Различают три вида цементита. Первичный - Ц<sub>1</sub> образующийся при твердеют жидкости в сплавах с содержанием углерода более 2,14%, представляет собой крупные кристаллы; вторичный - Ц<sub>2</sub>, образующийся при разложении аустенита в сплавах, содержащих углерода более 0,02%, имеет форму пластинок или кристаллов средних размеров; третичный - Ц<sub>3</sub>, образующийся при выделении лишнего углерода из феррита (растворимость углерода в феррите от 0,02% при 727°C до 0,00624% при 20°C), имеет форму мелкой сетки по границам феррита.

*Перлит* - эвтектоидная (механическая) смесь феррита и вторичного цементита. Обозначение - П. Содержание углерода - 0,8%. Предел прочности - 900 МПа; предел текучести - 400 МПа; твердость HB=250 кгс/мм<sup>2</sup>; относительное удлинение - 25%.

*Ледебурит* - эвтектическая (механическая) смесь аустенита и первичного цементита. Обозначение - Л. Содержание углерода - 4,3%. Предел прочности - 1200 МПа; предел текучести - 800 МПа; твердость - НВ 600 кгс/мм<sup>2</sup>; относительное удлинение - 1%.

## ИЗУЧЕНИЕ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

*Характеристика и определение линий диаграммы состояния:*

АВСД – линия ликвидус начало первичной кристаллизации;

АНІЕСF - линия солидус - окончание первичной кристаллизации;

GSE - начало вторичной кристаллизации (перекристаллизации);

PSK - окончание вторичной кристаллизации для сталей и перекристаллизации для чугунов, эвтектоидная горизонталь;

НІВ – перитектическая горизонталь;

ЕСF– эвтектическая горизонталь;

НJB– перитектическая горизонталь;

SE– линия растворимости углерода в  $\gamma$ -железе;

PQ– линия растворимости углерода в  $\alpha$ -железе.

*Характеристика и определение основных точек диаграммы состояния:*

Д – температура плавления цементита (1600 °С);

А – температура плавления чистого железа (1539 °С);

Е – характеризует предел растворимости углерода в аустените и разделяет диаграмму на стали (левее точки Е) и чугуны (правее точки Е);

S – эвтектоидная точка образования механической смеси феррита и вторичного цементита - перлита;

С – эвтектическая точка образования механической смеси аустенита и первичного цементита (ледебурита) из расплава;

І – перитектическая точка образования твердого раствора аустенита из феррита и жидкости;

G – температура перехода  $\alpha$ -железа в  $\gamma$ -железо;

$N$  – температура перехода  $\gamma$ -железа в  $\delta$ -железо.

## ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ ОХЛАЖДЕНИЯ И НАГРЕВА ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРАВИЛА ФАЗ ГИББСА

На диаграмме железо-углерод мысленно проводится вертикальная линия, и определяются температуры структурных и фазовых превращений.

Для построения кривой охлаждения какого-либо сплава нужно определить является ли эта температура температурой фазового превращения. Следовательно, для каждой температуры нужно посчитать число степеней свободы  $i$ . Если  $i = 0$ , то эта температура является температурой фазового превращения и на кривой охлаждения при этой температуре следует рисовать горизонтальное плато. Длина плато зависит от массы сплава и от концентрации углерода. Если  $i \neq 0$ , значит это температура структурного превращения и на кривой охлаждения должен наблюдаться перегиб, т.е. при этой температуре меняется скорость охлаждения.

Например, построим кривую охлаждения для железоуглеродистого сплава с содержанием углерода 1%.

Мысленная вертикальная линия пересекает диаграмму железо-углерод в 4 местах: при температурах  $T_1=1480^\circ\text{C}$ ,  $T_2=1330^\circ\text{C}$ ,  $T_3=820^\circ\text{C}$ ,  $T_4=727^\circ\text{C}$ .

Для каждой температуры посчитаем число степеней свободы  $i$ . Из правила фаз Гиббса  $i=k-f+1$ . Число компонент  $k = 2$  (железо, углерод),  $l$ - число внешних воздействий (температура). Следовательно, для каждой температуры нужно посчитать число фаз  $f$ , которые находятся в равновесии при этой температуре.

При  $T_1$  в равновесии находятся жидкость и аустенит, который начал кристаллизоваться. Следовательно  $f=2$ ,  $i=2-2+1=1$  и на кривой охлаждения будет перегиб.

При  $T_2$  в равновесии находятся аустенит и оставшаяся жидкость. Следовательно  $f=2$ ,  $i=2-2+1=1$  и на кривой охлаждения будет перегиб.

При  $T_3$  в равновесии находятся аустенит и вторичный цементит, который начал выделяться при вторичной кристаллизации. Следовательно  $f=2$ ,  $i=2-2+1=1$

и на кривой охлаждения будет перегиб.

При  $T_4$  в равновесии находятся аустенит и вторичный цементит, а также перлит (механическая смесь феррита и цементита), который перекристаллизовывается из оставшегося аустенита. Следовательно  $f=3$ ,  $i=2-3+1=0$  и на кривой охлаждения будет горизонтальное плато.

Теоретическая кривая охлаждения будет выглядеть следующим образом:

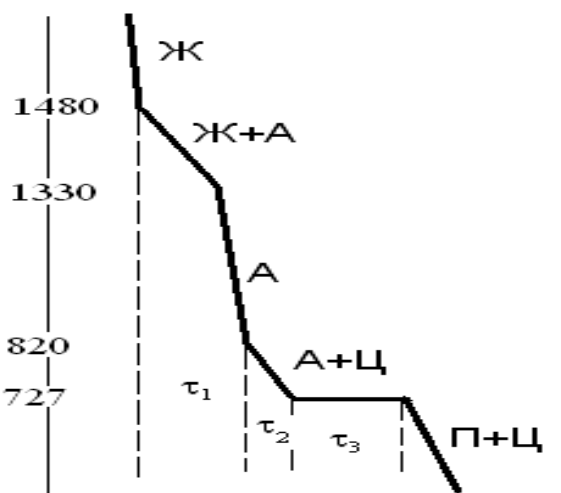


Рис. 5. Кривая охлаждения железоуглеродистого сплава с содержанием углерода 1%.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

### Часть 1

- 1) Изучить схему установки для проведения термического анализа.
- 2) Вставить термопару в образец, закрыть дверцу печи.
- 3) Включить печь.
- 4) Провести исследования закономерности изменения температуры нагрева и охлаждения во времени, отмечая температуру образца через равные промежутки времени. Данные занести в табл. 1.

Таблица 1.

Номер образца и содержание углерода в образце			
Номер замера	Время замера, с	Температура, °С	Примечания

Построить график нагрева - охлаждения в координатах "температура-время"

и определить критические точки. Занести критические точки в табл. 2.

Таблица 2.

Номер образца	Состав сплава	Температура фазового превращения, °С	
		Начальная	Конечная

### Часть 2

- 1) Зарисовать в тетради часть диаграммы железо-углерод, соответствующая варианту задания (таблица 3).
- 2) Провести вертикальную линию на диаграмме при заданной концентрации углерода.
- 3) Определить температуры структурного или фазового превращения сплава.
- 4) Для каждой температуры посчитать число степеней свободы  $i$ .
- 5) Построить кривую охлаждения данного сплава.

Вариант	Содержание углерода, %	Температуры, °С.
1	0,5	1000-25
2	0,8	1700 - 25
3	1	1000-25
4	2	1150-25
5	3	1700-1000
6	4,3	1700-25
7	5,5	1700-1000
8	6,67	1700-1000
9	2,5	1000-25
10	5	1000-25
11	0,1	1700-1000
12	0,12	1700-1000
13	0,16	1700-1000
14	0,01	1700-1000
15	0,03	1700-1000
16	4	1000-25
17	4,5	1000-25
18	5	1000-25
19	6	1000-25
20	0,02	1000-25

## Практическая работа № 2. Испытание материалов на растяжение

При испытании на растяжение, согласно ГОСТ 1497, определяют сопротивление металла малым пластическим деформациям, характеризующееся пределом пропорциональности  $\sigma_{\text{пц}}$ , пределом упругости  $\sigma_y$  и пределом текучести  $\sigma_T$  (или  $\sigma_{0,2}$ ), а также сопротивление значительным пластическим деформациям, которое выражают временным сопротивлением  $\sigma_B$ .

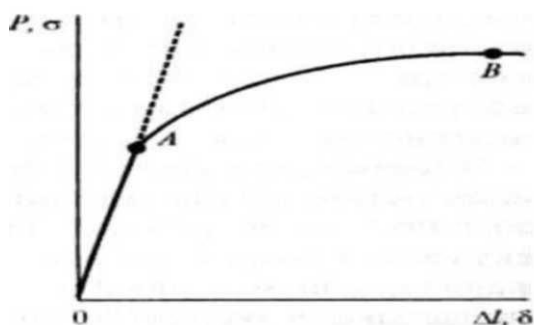
При растяжении определяют и пластичность металла, то есть величину пластической деформации до разрушения, которая может быть оценена относительным удлинением образца  $\delta$  и его относительным сужением  $\psi$  (после разрыва образца).

Для испытания на растяжение используют стандартные образцы. Машина для испытаний снабжена устройством, записывающим диаграмму растяжения. Диаграмма растяжения показывает зависимость между растягивающей нагрузкой, действующей на образец, и его деформацией. На диаграмме по оси ординат записывают нагрузку

$P$ , а по оси абсцисс - абсолютное удлинение образца

$\Delta l$  ( $\Delta l = l_x - l_0$ , где  $l_x$  и  $l_0$  - текущая (в данный момент времени) и начальная длины образца).

Схема диаграммы растяжения: изменение удлинения образца в зависимости от нагрузки.

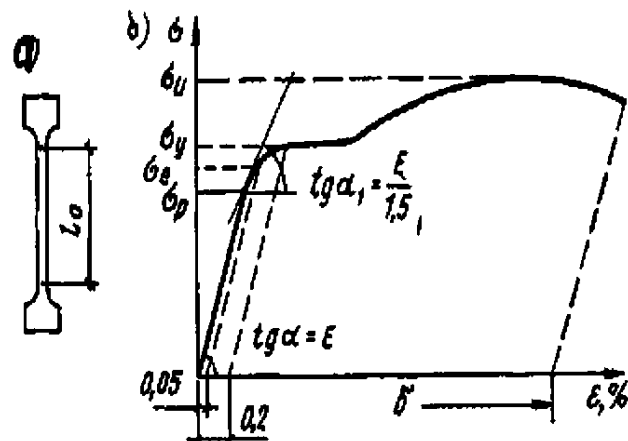


Кривая изменения абсолютного удлинения  $\Delta l$  в зависимости от прилагаемой нагрузки  $P$  при растяжении состоит из прямолинейного участка  $OA$  и криволинейного  $AB$ , отвечающего переходу в область пластических (остаточных)

деформаций и характеризуемой постепенным уменьшением тангенса угла наклона кривой к оси абсцисс.

**Пластической** называют деформацию, остающуюся после снятия нагрузки (кроме того, наблюдается обратимая пластическая деформация, которая, как и упругая, исчезает после снятия нагрузки). Величина остаточной деформации в момент разрушения (удлинение, сужение) служит мерой пластичности материала.

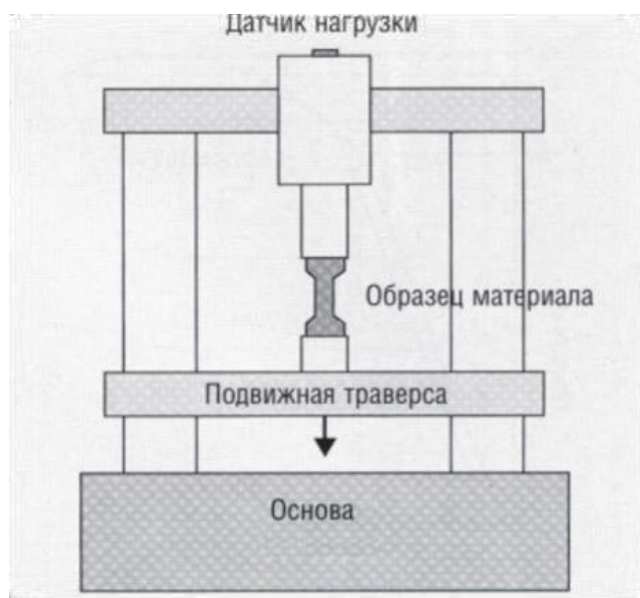
Если величина пластической деформации до разрушения мала, то материал называют хрупким. Пластическая деформация предшествует любому виду разрушения (вязкому или квазихрупкому), но при квазихрупком разрушении она весьма мала,



локализована в микро- и субмикрообъемах и не выявляется при обычных методах измерения макродеформации. В этом последнем случае необходимо изыскание таких условий испытания (скорости нагружения, температуры испытания и т. п.), при которых можно было бы выявить пластичность материала.

Для возможности сравнения результатов испытаний различных по размерам образцов целесообразно установить

связь между удельными и относительными величинами, т. е. между условным напряжением  $\sigma$ , равным  $P/F_0$ , где  $P$  растягивающая нагрузка (сила),  $F_0$  — площадь поперечного сечения образца до испытания, и относительным удлинением  $\delta$ , равным  $\Delta l/l_0$ , где  $\Delta l$  — абсолютное удлинение образца;  $l_0$  — длина образца до испытания. Так как



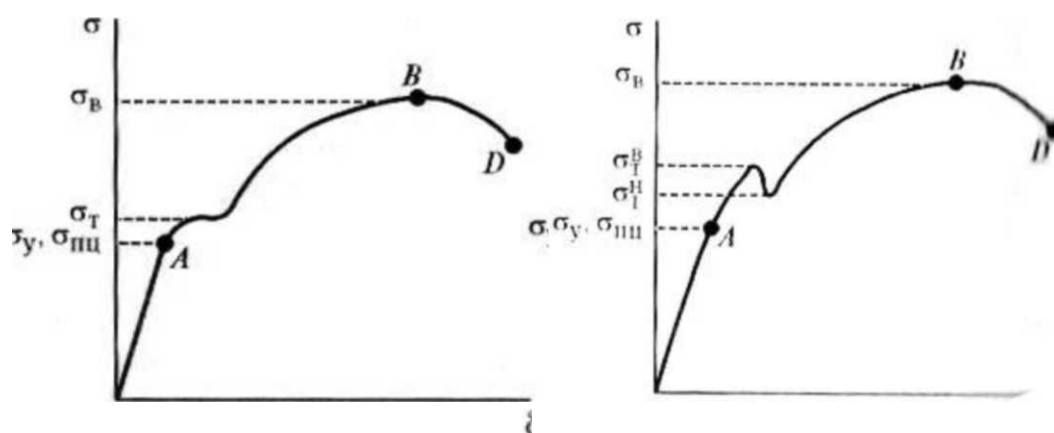
значении  $P$  и  $\Delta l$  делятся на постоянные для данных условий испытания величины,



то вид диаграммы, приведенной на Рис. 1, не меняется (отличается только масштабом) при переходе от координат  $P - \Delta l$  к координатам  $\sigma - \delta$ .

Напряжения ниже точки А практически не вызывают измеримой остаточной деформации и относительно этой точки могут быть установлены (с определенным допуском на точность измеряемых деформаций) предел упругости  $\sigma_y$ , а также предел пропорциональности  $\sigma_{пц}$ . Здесь и далее напряжения получаются делением соответствующей нагрузки на  $F_0$  — площадь поперечного сечения образца до испытания.

Предел упругости  $\sigma_y$  — условное напряжение, соответствующее появлению остаточных деформаций определенной заданной величины (0,05; 0,001; 0,003; 0,005%); допуск на остаточную деформацию указывается в индексе при  $\sigma_y$ .



Предел пропорциональности  $\sigma_{пц}$  — условное напряжение, соответствующее отклонениям от линейного хода кривой деформации (от закона Гука), задаваемым определенным допуском (например, увеличением тангенса угла наклона кривой деформации к оси напряжения на 25 или 50% при переходе от прямолинейного участка к криволинейному).

Следует отметить, что для реальных поликристаллических металлов определение  $\sigma_y$  и  $\sigma_{пц}$  представляет значительные методические трудности, так как предусматривает измерение очень малых деформаций. Поэтому на практике чаще обращаются к такой характеристике, как условный предел текучести.

Условный предел текучести — это условное напряжение, при котором остаточная деформация достигает определенной величина (обычно 0,2% от

рабочей длины образца; тогда условный предел текучести обозначают как  $\sigma_{0,2}$ ). Величину  $\sigma_{0,2}$  определяют, правило, для материалов, у которых на диаграмме отсутствует площадка или зуб текучести.

В тех случаях, когда диаграмма растяжения имеет площадку текучести, измеряют физический предел текучести  $\sigma_T$ , условное напряжение, соответствующее наименьшей нагрузке площадки текучести, когда деформация образца происходит увеличения нагрузки. Иногда распространение деформации по длине образцов из пластичных материалов при напряжениях, отвечающих площадке текучести, носит волнообразный характер: вначале образуется местное утонение сечения, затем это утончение переходит на соседний объем материала и этот процесс до тех пор, пока в результате распространения такой волны не возникает общее равномерное удлинение, отвечающее площадке текучести.

Если Схемы диаграмм растяжения металлов, дающих и испытании образцов, например на растяжение, не возникает локализованной деформации (не образуется шейки - местное сужение поперечного сечения), то образец из хрупких металлов разрушается при какой-то максимальной нагрузке, отвечающей точке В на Рис. 1. Деление этой нагрузки на площадь начального поперечного сечения дает разрушающее напряжение, называемое временным сопротивлением  $\sigma_b$  (это условное напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, выдерживаемой образцом). В тех случаях, когда окончание растяжения сопровождается местным утонением образца (образованием шейки), диаграмма растяжения имеет вид, изображенный на Рис. 2, т. е. нагрузка в момент разрыва пластичного металла и напряжение, отнесенное к исходному сечению (в точке D), могут быть меньше, чем напряжение в какой-то предыдущий момент растяжения.

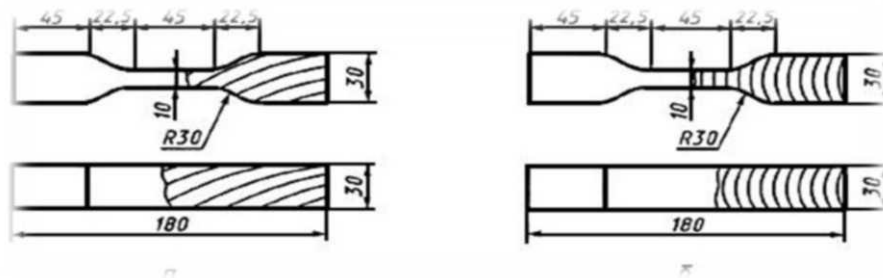


Но и в этом случае временное сопротивление определяется применительно к точке В, т. е. относительно максимальной нагрузки, момент достижения которой практически совпадает с началом образования шейки в образце из пластичного материала. Появление шейки определяет переход от равномерной деформации всей рабочей части образца к сосредоточенной деформации в определенном сечении.

При переходе в область пластических деформаций (правее точки А на диаграмме Рис. 1) изменения поперечного сечения образца становятся уже значительными и отнесение нагрузки к исходному (до деформации) сечению  $F_0$  дает лишь

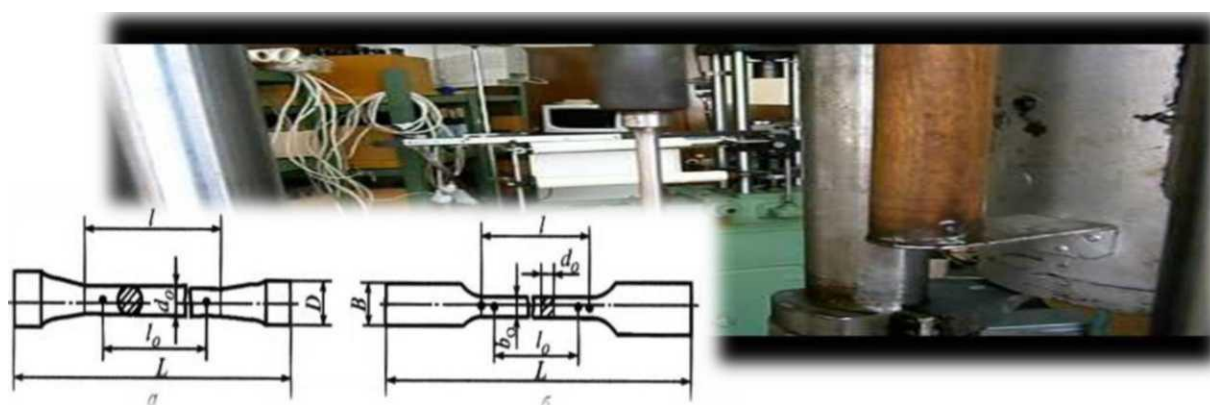


условные напряжения. Если учитывать изменение сечения при деформации и относить нагрузку не к исходному сечению, а к сечению в каждый данный момент деформации  $F_x$ , то получают истинные напряжения. Эти последние, естественно, отличаются от условных напряжений и тем больше, чем пластичнее материал (чем сильнее изменяется сечение в ходе деформации относительно исходного). Соответственно изменяется вид диаграммы растяжения, которая схематично показана на Рис. 3. В случае хрупких материалов (чугун, литые алюминиевые сплавы и др.) различие между истинными и условными напряжениями может быть небольшим



Следует отметить, что закон пропорциональности между напряжением и деформацией является справедливым лишь в первом приближении. При точных измерениях даже при небольших напряжениях в упругой области наблюдаются отклонения от закона пропорциональности. Это явление называют неупругостью. Оно проявляется в том, что деформация, оставаясь обратимой, отстает по фазе от действующего напряжения. В связи с этим при нагрузке-разгрузке на диаграмме растяжения вместо прямой линии получается петля гистерезиса, так как линии нагрузки и разгрузки не совпадают между собой.

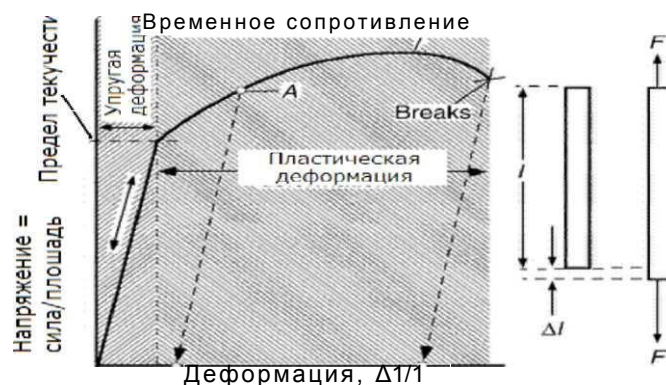
Механические свойства металлов в испытаниях на растяжение определяют, используя стандартные образцы, общий вид которых показан на Рис. 4.



Необходимо строго соблюдать определенные соотношения между начальной расчетной длиной образца  $l_0$  и начальной площадью поперечного сечения в рабочей части образца  $F_0$ . Используют образцы двух видов: цилиндрические и плоские.

Оба вида образцов для испытания на растяжение применяют с начальной расчетной длиной  $l_0 = 5,65\sqrt{F_0}$  или  $l_0 = 11,3\sqrt{F_0}$  диаметром  $d_0 = 3...25$  мм или толщиной  $a_0 = 0,5...25$  мм и шириной  $b_0 = 20...30$  мм. При этом образцы с расчетной длиной  $l_0 = 5, \sqrt{F_0}$  именуется «короткими», а образцы с  $l_0 = 11,3 \sqrt{F_0}$  - «длинными», причем применение первых предпочтительнее. Литые образцы и образцы из хрупких металлов допускается изготавливать с начальной расчетной длиной  $l_0 = 2,82\sqrt{F_0}$ .

В случае цилиндрических образцов в качестве основных применяют образцы с диаметром  $d_0 = 10$  мм и начальной расчетной длиной  $l_0 = 5d_0$  (короткие) и  $l_0 = 10d_0$  (длинные); в первом случае поручаемое значение относительного удлинения после разрыва обозначают  $\delta_5$ , во втором -  $\delta_{10}$ .



Для испытаний металлов на растяжение применяют специальные машины. Такие машины называют «разрывная машина» или «машина для испытания на растяжение». Эти машины обеспечивают надежное центрирование образца в своих захватах, плавность нагружения образца при растяжении и его разгрузки, медленную скорость упругого и пластического деформирования образца. Нагрузка прилагается вдоль оси стержня, как это схематически показано на рисунке. Требования к разрывным машинам определяет ГОСТ 7855-84.

Рисунок — Диаграмма деформирования при испытании металлов на растяжение. При испытании на растяжение с увеличением усилия растяжения стержень становится все длиннее и это изменение длины обозначают как  $\Delta l$ , где знак  $\Delta$  обозначает «изменение, приращение», а  $l$  - начальную длину. Понятно, что сила  $F$  величиной 50 кГ, приложенное к каждому из двух различных стержней - тонкому и толстому — из одинакового материала даст им различное увеличение длины. Тонкий стержень растянется, естественно, больше.

Кроме предела текучести и временного сопротивления диаграмма деформирования дает еще одну меру механических свойств металла -

«относительное удлинение». Относительное удлинение характеризует пластические свойства металла. Относительное удлинение - это увеличение длины образца, которое происходит после прохождения предела текучести и до самого разрушения стержня. Его иногда называют остаточным удлинением, так оно остается в образце после его разрушения и его можно легко измерить. Остаточное удлинение образца на рисунке после того, как упругие деформации релаксировали, обозначено точкой С. Простым умножением деформации в точке С на 100 получаем величину относительного удлинения образца.

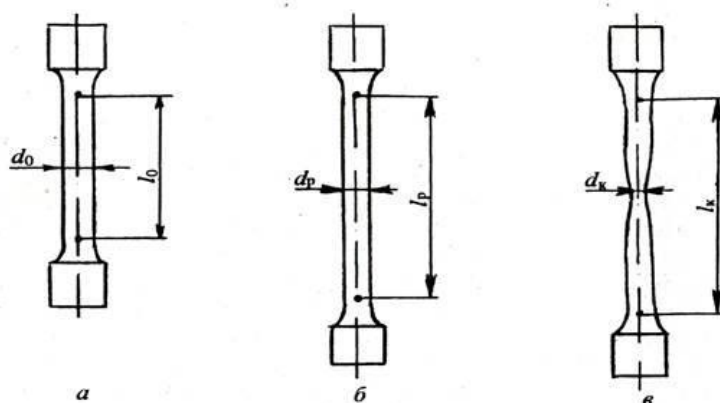


Рис. 2.6. Схемы цилиндрического образца на различных стадиях растяжения:

### Практическая работа № 3. Испытание металлов на ударную вязкость

Цель: провести испытания на ударную вязкость.

Оборудование: Маятниковый копер ТСКМ-300.

Ход работы:

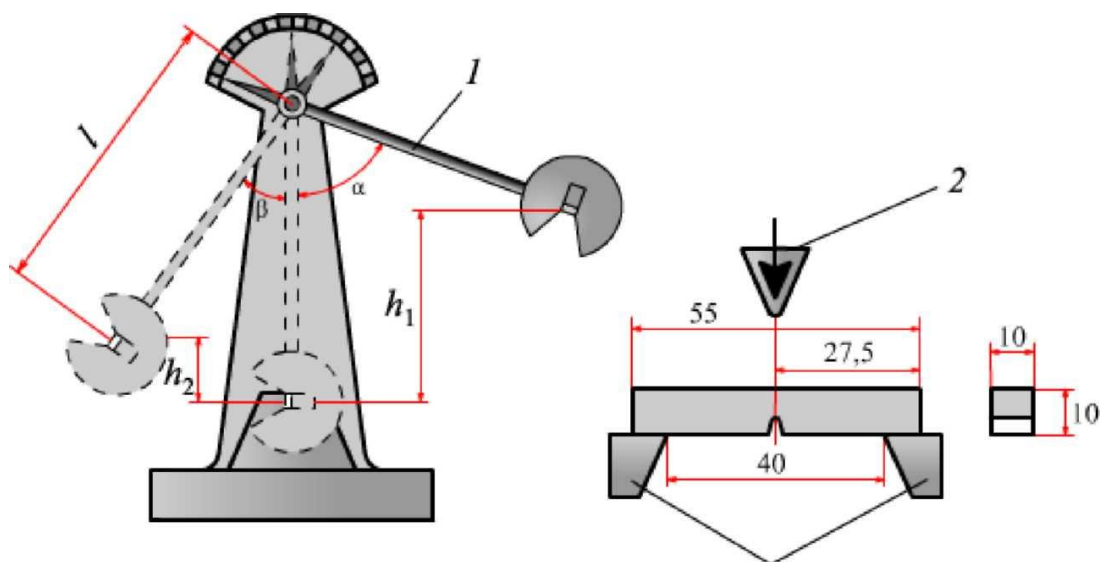
Ударная вязкость. Для оценки вязкости материалов и установления их склонности к переходу из вязкого в хрупкое состояние наиболее часто проводят испытания на стандартных образцах нескольких типов с надрезами определённой формы и размеров. Образец устанавливают на опорах копра надрезом в сторону, противоположную удару ножа маятника, который поднимают на определённую высоту. На разрушение образца затрачивается работа  $A = P (H - h)$ , где  $P$  - масса маятника, кг;  $H, h$  - высота подъёма маятника до и после удара, м.

Характеристикой вязкости является ударно-надрезная вязкость, называемая обычно просто ударной вязкостью.

Ударная вязкость является характеристикой, чувствительной к структурному состоянию, содержанию вредных примесей. Вместе с тем ударная вязкость не позволяет достаточно надёжно установить сопротивление металла хрупкому разрушению и является качественной характеристикой вязкого разрушения. Изделия могут хрупко разрушаться и при достаточно высоком значении ударной вязкости.

Оценка вязкости по виду излома основана на том, что для хрупкого разрушения характерным является кристаллический, а для вязкого - волокнистый излом.

Испытание на ударную вязкость



Испытание полимеров на вязкость



## **Практическая работа № 4. Определение твердости металлов методами Бринелля и Роквелла**

Цель: научиться определять твёрдость методами Бринелля и Роквелла

Оборудование: Твердомер КВ, Твердомер Роквелла 5008.

Ход работы:

Твёрдость по Бринеллю определяет статическим выдавливанием в испытуемую поверхность под нагрузкой  $P$  стального закалённого шарика диаметром  $D$ . Число твёрдости НВ определяют отношением нагрузки  $P$  к сферической поверхности отпечатка-лунки (шарового сегмента)  $E$  диаметром  $d$ .

Диаметр шарика выбирают в зависимости от толщины изделия.

Для небольших изделий учитывают также размеры поверхности для измерения, так как расстояние от центра отпечатка до края изделия должно составлять не менее 2.5 мм.

Нагрузку  $P$  выбирают в зависимости от диаметра шарика и измеряемой твёрдости, которую приближённо оценивают с учётом природы сплава и способа его обработки.

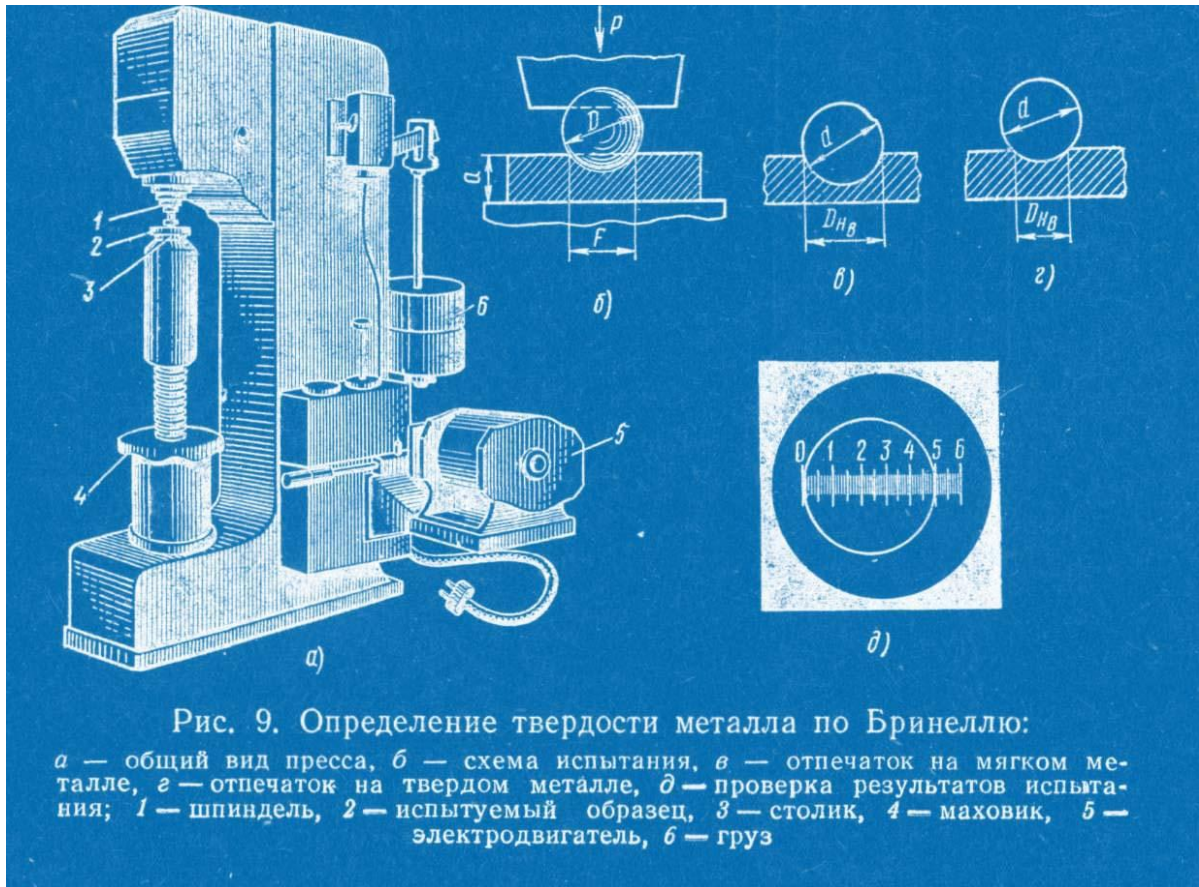
Продолжительность выдержки под нагрузкой для стали и чугуна составляет 10 с, для латуни и бронзы 30 с.

Так как значения  $D$  и  $P$  заранее известны, то для определения числа твёрдости необходимо лишь измерить диаметр отпечатка  $d$  и найти соответствующие ему твёрдость по таблицам.

При испытании часто принимают  $D=10$  мм,  $P=3000$  кгс,  $t=10$  с. Твёрдость обозначается НВ 250, НВ 300, где 250,300 - числа твёрдости.

Размерность числа твёрдости, как правило, не указывают. При других условиях испытания твёрдость обозначают НВД/ $P/t$ , например НВ5/250/30-80. Это значит, что твёрдость измерена шариком  $D=5$  мм при нагрузке  $P=250$  кгс и продолжительности выдержки  $t=30$  полученное число твёрдости 80.





Метод Роквелла основан на статическом вдавливании в испытуемую поверхность наконечника под определённой нагрузкой. В качестве наконечника для отожженной стали и других материалов с твердостью до НВ 230 применяют стальной шарик, для более твёрдых материалов - алмазный конус. Нагружение наконечников проводится в два этапа. Предварительное нагрузкой  $P_0=10$  кгс на глубину  $h_0$  мм проводят до плотного соприкосновения наконечника с образцом. Общая рабочая нагрузка для стального шарика  $P=100$  кгс, для алмазного конуса 150 кгс. Значение твёрдости определяют по глубине остаточного вдавливания наконечника. Число твёрдости указывает стрелка индикатора-глубиномера. Если применяется шарик, то измерения проводят по шкале В, при алмазном конусе - по шкале G.

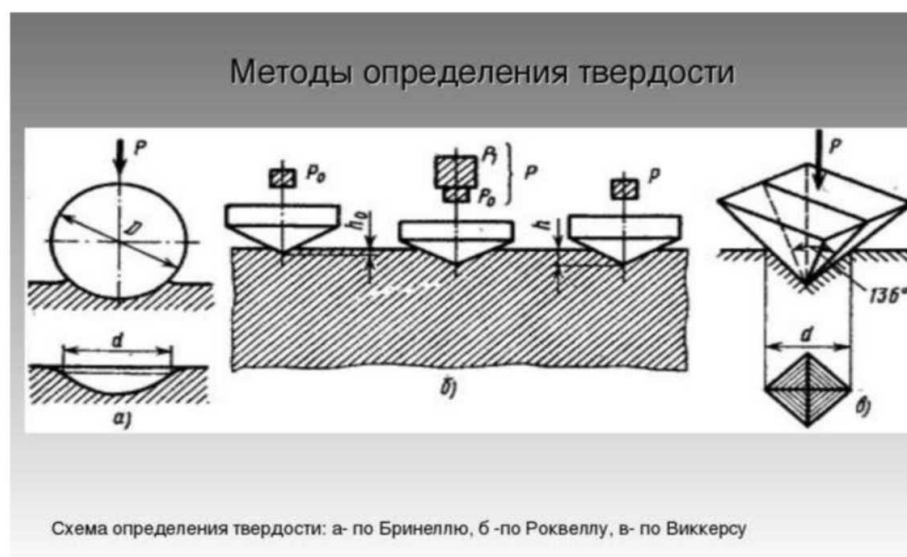
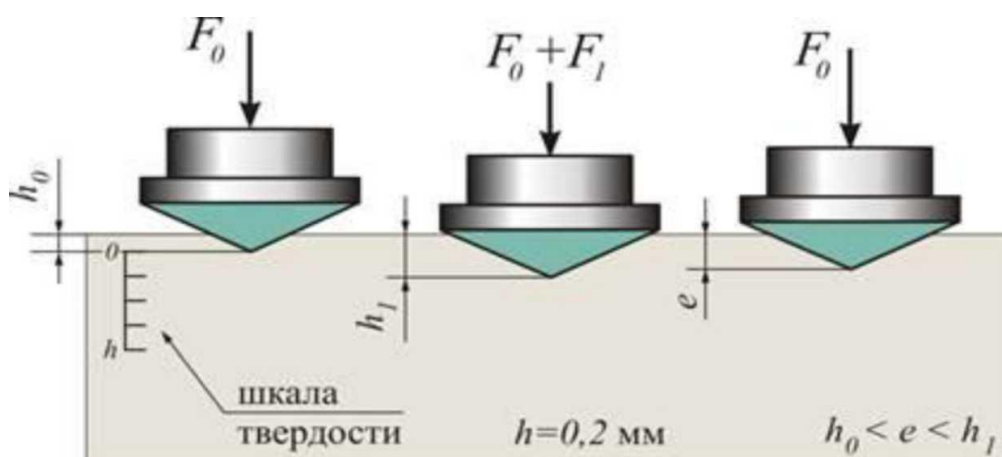
Твёрдость по Роквеллу обозначается: HRB 30, HRG 60, твёрдость 30 по шкале В, 60 по шкале G. Твёрдость очень твёрдых материалов измеряют алмазным конусом при уменьшенной нагрузке  $P=60$  кгс, условное обозначение HRA 80, то есть твёрдость 80.

Между значениями HRA и HRG имеется следующая зависимость:  $HRG = 2HRA - 104$ .

Преимуществом способа Роквелла является быстрота измерений. Применение алмазного конуса позволяет измерять твёрдость закалённой стали и других очень твёрдых материалов, тонких изделий или поверхностного слоя толщиной до 0,4 мм (шкала А) и до 0,7 мм (шкалы В и G).

Недостаток измерения твёрдости по методу Роквелла заключается в том, что необходима тщательная подготовка поверхности - шлифование. На приборе Роквелла, где глубина отпечатка мала и ее измеряют с точностью до 0,002 мм, могут оказывать влияние загрязнённость, вибрация и другие условия производства.

Схема определения твёрдости методом Роквелла (шкала А и G)



## **Практическая работа № 5. Определение маркировки углеродистых и легированных сталей по государственному стандарту**

### **Инструментальные легированные стали**

Правила обозначения инструментальных легированных сталей по ГОСТ 5950-73 в основном те же, что и для конструкционных легированных. Различие заключается лишь в цифрах, указывающих на массовую долю углерода в стали. Процентное содержание углерода также указывается в начале наименования стали, в десятых долях процента, а не в сотых, как для конструкционных легированных сталей. Если же в инструментальной легированной стали содержание углерода составляет около 1.0%, то соответствующую цифру в начале ее наименования обычно не указывают

### **Конструкционные легированные стали**

В соответствии с ГОСТ 4543-71 наименования таких сталей состоят из цифр и букв. Первые цифры марки обозначают среднее содержание углерода в стали в сотых долях процента. Буквы указывают на основные легирующие элементы, включенные в сталь. Цифры после каждой буквы обозначают примерное процентное содержание соответствующего элемента, округленное до целого числа, при содержании легирующего элемента до 1.5% цифра за соответствующей буквой не указывается.

### **Назначение букв в марке**

Буква А в середине марки стали показывает содержание азота, а в конце - сталь высококачественная.

Для некоторых групп сталей принимают дополнительные обозначения, Марки автоматных сталей начинаются с буквы А, подшипниковых - с буквы Ш, быстрорежущих - с буквы Р, буква Л в конце марки - литейная.

## Обозначение легирующих элементов, входящих в состав стали

- **А** – азот
- **К** – кобальт
- **Т** – титан
- **Б** – ниобий
- **М** – молибден
- **Ф** – ванадий
- **В** – вольфрам
- **Н** – никель
- **Х** – хром
- **Г** – марганец
- **П** – фосфор
- **Ц** – цирконий
- **Д** – медь
- **Р** – бор
- **Ю** – алюминий
- **Е** – селен
- **С** – кремний
- **Ч** – редкоземельные Me

### Легирующие элементы входящие в состав стали

Вводимые в сталь легирующие элементы изменяют ее механические, физические и химические свойства. В зависимости от назначения стали в нее вводят те или иные элементы, изменяющие свойства в нужном направлении. Важно отметить, что легированная сталь большинства марок приобретает высокие физико-механические свойства только после термической обработки.

Существенным недостатком углеродистой стали является то, что эта сталь не обладает нужным сочетанием механических свойств.

С увеличением содержания углерода увеличиваются прочность и твердость, но одновременно резко уменьшаются пластичность и вязкость, растет хрупкость.

### Легированные стали подразделяются

**на:** низколегированная (не более 2,5 %);

среднелегированная (не более 10 %);

высоколегированная (от 10 % до 50 %).

**В зависимости от содержания вредных примесей стали различают по качеству:**

Качественная (**45ХН<sub>2</sub>**)

Высококачественная (**20ХН3А**)

Особовысококачественная (**30ХГС - Ш**)

**Легирующие элементы и их влияние на свойства сталей:**

### **Хром**

Добавка хрома увеличивает коррозионную стойкость, повышает прочность и твердость, является основным компонентом при создании нержавеющей стали.

### **Никель**

Добавление никеля повышает пластичность, вязкость стали и коррозионную стойкость.

### **Титан**

Титан уменьшает зернистость внутренней структуры, повышая прочность и плотность, улучшает обрабатываемость и коррозионную стойкость.

### **Ванадий**

Присутствие ванадия уменьшает зернистость внутренней структуры, что повышает текучесть и порог прочности на разрыв.

### **Молибден**

Добавка молибдена дает возможность улучшить прокаливаемость, повысить коррозионную устойчивость и снизить хрупкость.

### **Вольфрам**

Вольфрам повышает твердость, не дает зернам увеличиваться при нагреве и снижает хрупкость при отпуске.

### **Углерод**

Оказывает на свойства стали очень значительное влияние. Если его содержится до 1,2%, то углерод способствует повышению твердости, прочности, предела текучести металла. Превышение указанного значения способствует тому, что начинает значительно ухудшаться не только прочность, но и пластичность.

## **Марганец**

Если количество марганца не превышает 0,8%, то он считается технологической примесью. Он призван повысить степень раскисления, а также противостоять негативному влиянию серы на сталь.

## **Фосфор**

Даже незначительное превышение содержания фосфора выше необходимого уровня чревато повышением хрупкости и текучести, а также снижением вязкости и пластичности стали.

## **Азот и кислород**

При превышении определенных количественных значений в составе стали вкрапления данных газов повышают хрупкость, а также способствуют понижению ее выносливости и вязкости.

## **Водород**

Слишком большое содержание водорода в стали ведет к увеличению ее хрупкости.

## **Образцы расшифровки марок легированных сталей**

**A40XE** - сталь легированная, автоматная, содержит 0,4% углерода, до 1,5 % хрома и до 1,5 % селена.

**10X14AG15** - сталь легированная, качественная, содержит 0,1% углерода, 14% хрома, до 1,5% азота и 15% марганца.

**30X2H4 - Ш** - сталь легированная, особовысококачественная, содержит 0,3% углерода, 2% хрома, 4% никеля.

**ШХ9** - сталь легированная, шарикоподшипниковая, содержит 9%

хрома. **5X14ДЛ** - сталь легированная, литейная, содержит 0,5% углерода, 14% хрома и до 1,5 % меди.

**Р9М4К8** - сталь легированная, быстро режущая, содержит 9% вольфрама, 4% молибдена, 8% кобальта.

## **Практическая работа № 6. Определение маркировки чугунов по государственному стандарту**

**Чугун** - сплав железа с углеродом, содержащие более 2,14% С. В отличие от стали чугуны имеют более высокое содержание углерода, заканчивают кристаллизацию образованием эвтектики, обладают низкой способностью к пластической деформации и высокими литейными свойствами. Их технологические свойства обусловлены наличием эвтектики в структуре. Стоимость чугунов ниже стоимости стали.

### **Чугун серый, ковкий и высокопрочный**

В отличие от белого, эти чугуны имеют в своей структуре углерод не в виде цементита, а в свободном состоянии в форме графитных включений. Графит может выделяться как из жидкой фазы, так и

из аустенита. Процессу графитизации (выделению графита) способствуют медленное охлаждение чугуна в процессе кристаллизации, высокое содержание кремния (до 4 %), наличие центров кристаллизации в виде мельчайших частиц оксидов  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$  и др.

Серый, ковкий и высокопрочный чугун отличаются друг от друга прежде всего формой графитных включений: в сером чугуне она пластинчатая (лепестковая), в ковком - хлопьевидная и в высокопрочном - шаровидная. Структура металлической основы чугунов может быть ферритной, феррито-перлитной и перлитной. От формы графитных включений и структуры металлической основы зависят механические свойства чугуна.

На рисунке показана форма графитных включений в сером, ковком и высокопрочном чугунах и три варианта металлической основы каждого из них.

Металлическая основа	Форма графитных включений		
	Пластинчатая	Хлопьевидная	Шаровидная
Феррит			
Феррит + Перлит			
Перлит			

Классификация чугуна по структуре металлической основы и форме графитных включений.

### Серый чугун

Графитные включения в большей или меньшей степени ослабляют металлическую основу, поэтому по механическим свойствам чугуны уступают стали, но зато имеют более высокие литейные свойства (хорошая жидкотекучесть, малая усадка) и используется в качестве литейных материалов. Обработке давлением чугуны не поддаются.

### Характеристика серого чугуна

Марки чугуна	Предел прочности при растяжении $\sigma_b$ , МПа, не менее		Твёрдость, НВ
СЧ 10	100	280	120-205
СЧ 15	150	320	130-241
СЧ 20	200	400	143-255
СЧ 25	250	460	156-260
СЧ 30	300	500	163-270
СЧ 35	350	550	179-290
СЧ 40	400	600	207-285
СЧ 45	450	650	229-289

Наименьшей твёрдостью и прочностью обладают чугуны с крупными прямолинейными графитными включениями и ферритной основой. Чем мельче графитные включения и чем больше перлита в металлической основе, тем выше марка чугуна - выше механические свойства.



Химический состав чугуна стандартом не устанавливается, его подбирают в зависимости от размеров (толщины стенки) отливок. Тонкостенные отливки охлаждаются в процессе кристаллизации быстрее, поэтому чугун должен содержать кремния больше, чем при изготовлении массивных толстостенных отливок.

Скорость охлаждения (толщина стенок), содержание углерода и кремния - вот основные факторы, определяющие структуру, свойства и, следовательно, марку серого чугуна.

Чугуны марок СЧ 10, СЧ 15, СЧ 20 применяют для литья строительных колонн, фундаментных плит, малонагруженных деталей автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных машин.

Марки СЧ25...СЧ45 используются для изготовления станин станков, деталей двигателей внутреннего сгорания, арматуры и других ответственных деталей.

При производстве марок СЧ30...СЧ45 применяют модифицирование чугуна - введение искусственных центров кристаллизации.

### **Ковкий чугун**

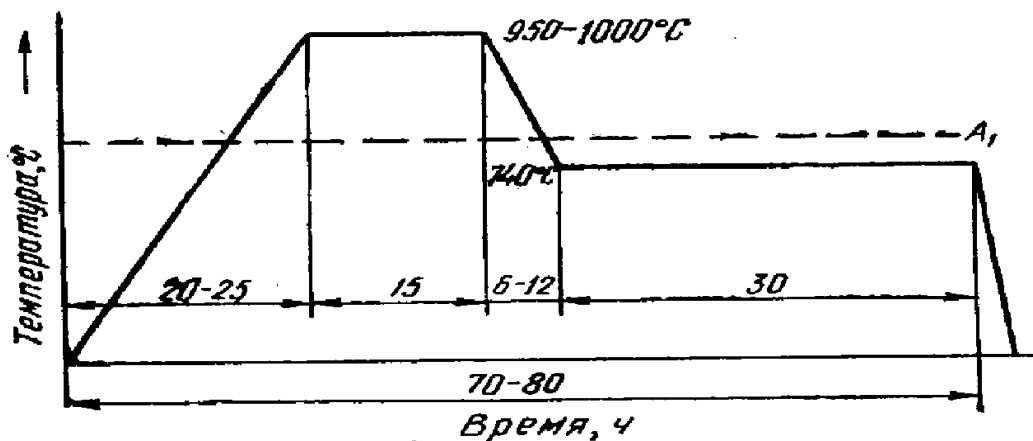
Хлопьевидная форма графитных включений в меньшей степени ослабляет металлическую основу по сравнению с пластинчатым графитом в сером чугуне. В результате достигается более высокая прочность, появляется некоторая пластичность, за счёт которой появилось название "ковкий". (Несмотря на название чугун не куётся, как и все чугуны - это литейный сплав.) Прочность чугуна повышается с увеличением доли перлита в структуре металлической основы.

Таблица Марки и механические свойства ковкого чугуна

Марки чугуна	Предел прочности $\sigma_B$ , Мпа, не менее	Относительное удлинение $\delta$ , % не менее	Твёрдость, НВ, не более
КЧ 33-8	330	8	165
КЧ 37-12	370	12	163
КЧ 50-4	500	4	241
КЧ 60-3	600	3	269

Ковкий чугун получают путём отжига белого доэвтектического чугуна. Литейные формы заливают малоуглеродистым (2,5...3 %), малокремнистым (0,7...1,5 %) чугуном. Отливка имеет структуру белого доэвтектического чугуна:  $\text{П}+\text{Ц}_{\text{II}}+\text{Л}(\text{П}+\text{Ц})$ . Это ещё полуфабрикат, отливки твёрдые и хрупкие, каким и положено быть белому чугуну.

*График режима отжига показан на*



Во время выдержки при температуре 950-1000°C происходит первая стадия графитизации - распадается цементит, содержащийся в ледебурите. Освободившийся углерод образует графитные хлопья.

В процессе охлаждения до 740°C происходит дальнейшая графитизация -распад цементита вторичного. Во время выдержки при температуре 740°C протекает вторая стадия графитизации - распад цементита, входящего в состав перлита.

Полностью проведённая вторая стадия даст ковкий чугун на ферритной основе, при частично проведённой второй стадии получаем феррито-перлитную основу.

Если же вторую стадию графитизации не проводить, то металлическая основа будет состоять из одного перлита.

Соответственно, в ферритном чугуне графита будет больше, чем в перлитном.

Процесс отжига можно ускорить за счёт предварительной закалки отливок, модифицирования чугуна алюминием и др. Ковкий чугун применяют

для отливки муфт, фланцев, гаек, втулок, тонкостенных корпусов редукторов и др.

### Высокопрочный чугун

Высокопрочный чугун получают путём модифицирования магнием. В жидкий чугун, который без модифицирования стал бы серым, вводится магний, в результате чего кристаллизующийся графит приобретает не пластинчатую, а шаровидную форму. На практике чистый магний не применяется, так как его введение при модифицировании сопровождается интенсивным разбрызгиванием. Поэтому вместо чистого магния находят применение сплав магния с никелем.

Такие шаровидные графитные включения в наименьшей степени ослабляют металлическую основу, в связи с чем чугун по прочности приближается к литой углеродистой стали, имея пластичность выше, чем у серого чугуна, сохраняя при этом хорошие литейные свойства.

Применяется для изготовления ответственных деталей: валков прокатных станов, корпусов турбин, траверс кузнечно-прессового оборудования вплоть до коленчатых валов и поршней двигателей внутреннего сгорания.

Марки высокопрочных чугунов приведены в таблице, они обозначаются буквами ВЧ и цифрами, указывающими прочность при растяжении в  $10^{-1}$  Мпа.

Таблица. Марки и механические свойства высокопрочного чугуна

Марки чугуна	Предел прочности $\sigma_{в}$ , Мпа, не менее	Относительное удлинение $\delta$ , %, не менее	Твёрдость, НВ
ВЧ 35	350	22	140-170
ВЧ 40	400	15	140-202
ВЧ 45	450	10	140-225
ВЧ 50	500	7	153-245
ВЧ 60	600	3	192-277
ВЧ 70	700	2	228-302
ВЧ 80	800	2	248-351
ВЧ 100	1000	2	270-360

Наряду с шаровидным графитом высокопрочные чугуны могут содержать графит вермикулярной формы (от лат. *vermi-culus* — червячок). Такой графит имеет форму изогнутых лепестков, размеры которых меньше по сравнению с частицами пластинчатого графита серого чугуна. Получение вермикулярной формы графита, как и в случае чугуна с шаровидным графитом, осуществляется путем обработки исходного жидкого расплава с помощью специальных комплексных лигатур, содержащих около 5 % Mg и малые добавки Ce и Ti.

В соответствии с ГОСТ 28394-89 выпускаются четыре марки чугунов с вермикулярным графитом: ЧВГ - 30, 35, 40, 45. Марка чугуна определяется временным сопротивлением разрыву при растяжении  $\sigma_b$  и условным пределом текучести  $\sigma_{0,2}$ . Обозначение марки включает буквы Ч — чугун, ВГ — форма графита (вермикулярный графит); цифры 30, 35, 40, 45 — минимальное значение временного сопротивления в МПа  $10^{-1}$ .

Чугун ЧВГ 30 имеет ферритную металлическую основу, ЧВГ 35 и ЧВГ 40 – феррито-перлитную, а ЧВГ 45 - преимущественно перлитную.

По физико-механическим свойствам и износостойкости чугун с вермикулярным графитом является переходной формой от чугунов с пластинчатым к высокопрочным чугунам с шаровидным графитом.

### **Легированный чугуны**

Требования к легированным чугунам для отливок с повышенной жаростойкостью, коррозионной стойкостью, износостойкостью или жаропрочностью регламентированы ГОСТ 7769-82. Марки легированных чугунов и их свойств приведены в таблице.

Таблица. Марки и свойства легированных чугунов (ГОСТ 7769-82)

Марка чугуна	Свойства
ЧХ1, ЧХ2, ЧХ3	Чугуны, обладающие повышенной коррозионной стойкостью в газовой, воздушной и щелочной средах в условиях трения и износа, жаростойкие в воздушной среде, выдерживают температуру от 500 до 700°С. Предназначены для изготовления деталей металлургического производства, кокилей стеклоформ, деталей химического оборудования и др.
ЧХЗТ, 4Х9Н5, ЧХ22, ЧХ16М2, ЧХ28Д2	Чугуны, обладающие повышенной стойкостью против абразивного износа и истирания
ЧХ22С	Этот чугун характеризуется повышенной коррозионной стойкостью при температуре 1000°С
4С13, 4С15, 4С17, 4С15МА, 4С17М3	Устойчивы к воздействию концентрированных и разбавленных кислот, растворов щелочей, солей
4Г6С3Ш, 4Г7Х4	Чугуны, обладающие высокой стойкостью в абразивной среде
4Г8Д3	Немагнитный, износостойкий чугун
4НХТ, 4НХМД, 4Н2Х, ЧНМШ	Чугуны с высокими механическими свойствами, хорошо сопротивляются износу и коррозии
4Н15Д3ГН, ЧН15Д7, 4Н19Х3Ш, ЧН11Г7Ш, 4Н20Д2Ш	Чугуны, обладающие высокими механическими свойствами, высокой коррозионной и эрозионной стойкостью в щелочах, слабых растворах кислот, в морской воде. Чугун 4Н20Д2ГШ может быть пластически деформирован в холодном состоянии

## Практическая работа № 7

### Тема: Маркировка латуней, бронз, алюминиевых сплавов

#### по государственному стандарту

#### Сплавы на основе меди

#### Латуни и бронзы

Марки обозначаются следующим образом. Первые буквы в марке означают: Л - латунь и Бр. - бронза. Буквы, следующие за буквой Л в латуни или Бр. в бронзе, означают: А - алюминий, Б - бериллий, Ж - железо, К - кремний, Мц - марганец, Н - никель, О - олово, С - свинец, Ц - цинк, Ф - фосфор.

Цифры, помещенные после буквы, указывают среднее процентное содержание элементов. Порядок расположения цифр, принятый для латуней, отличается от порядка, принятого для бронз.

В марках латуни первые две цифры (после буквы) указывают содержание основного компонента. Остальные цифры, отделяемые друг от друга через тире,

указывают среднее содержание легирующих элементов. Эти цифры расположены в том же порядке, как и буквы, указывающие присутствие в сплаве того или иного элемента.

В марках бронзы (как и в сталях) содержание основного компонента не указывается, а определяется по разности. Цифры после букв, отделяемые друг от друга через тире, указывают среднее содержание легирующих элементов; цифры расположенные в том же порядке, как и буквы, указывающие на легирование бронзы тем или иным компонентом

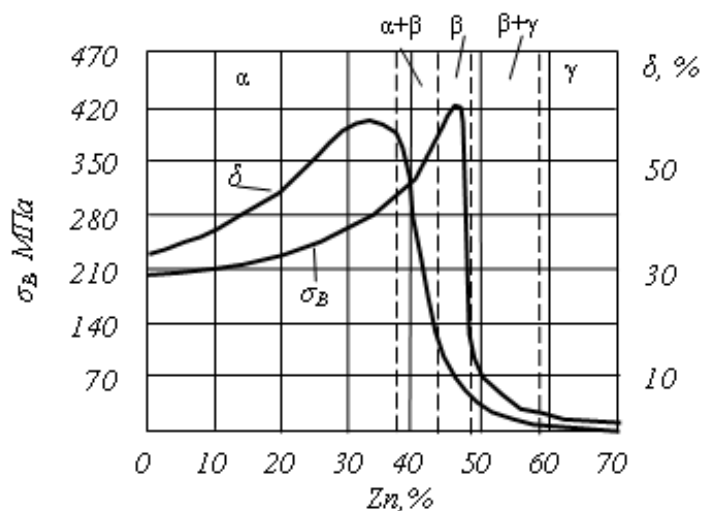
## ЛАТУНЬ

В латунях главным легирующим элементом является цинк (Zn). Латуни получили широкое распространение благодаря сочетанию высоких механических и технологических свойств.

Содержание цинка в кристаллической решетке может достигать 39%. Латуни состоящие из меди и цинка называют простыми. Они могут быть однородными (до 39% цинка) и двухфазными (более 39% цинка). Однофазные латуни имеют высокую пластичность, т.к. состоят из однофазного  $\alpha$ -твёрдого раствора. Двухфазные латуни при наличии  $\beta$ -фазы имеют более высокую прочность, но пластичность при этом снижается, рис.1.

Простые латуни маркируются буквой «Л» и цифрой, показывающей процентное содержание меди. Латунь Л80 содержит 80% меди и 20% цинка. Простые латуни поставляются в виде листов, ленты, прутков, проволоки и согласно ГОСТ 15527-70 имеют обозначение Л96, Л90.....Л59.

Специальные (многокомпонентные) латуни содержат и другие легирующие элементы: алюминий (Al), никель (Ni). Марганец (Mn), олово (Sn) и др. Алюминий, кремний, марганец и никель повышают механические свойства латуни и сопротивление



коррозии, а свинец улучшает обрабатываемость резанием. В специальных латунях после буквы «Л» следуют буквы русского алфавита, обозначающие легирующий элемент: А-Al, Н-Ni, К - Si, С - Pb, О - Sn, Ж - Fe, М n - Мц, Ф - Р, Б - Ве, Ц - Zn. После букв ставятся цифры, показывающие среднее содержание меди и легирующих элементов в %. Например: ЛК 80-3 содержит 80% меди + 3% кремния + 17% цинка.

### Влияние содержания цинка на свойства латуней

Простые и специальные латуни относятся к деформируемым сплавам и используются как конструкционный материал там, где требуются высокая прочность и коррозионная стойкость: в трубопроводной арматуре, в химическом машиностроении и особенно в судостроении. Изготавливают из латуней листы, ленту, проволоку, а затем из этого проката - радиаторные трубки, снарядные гильзы, трубопроводы, шайбы, гайки, втулки, уплотнительные кольца, токопроводящие детали электрооборудования.

Кроме деформируемых латуней применяются и литейные латуни, которые содержат большое количество добавок для улучшения литейных свойств. Их обозначение отличается от деформируемых латуней. В них содержание компонента указывается после буквы обозначения: ЛЦ40Мц3Ж - содержит 40% цинка, 3% марганца, 10% меди, остальное - медь.

**Химический состав и механические свойства некоторых марок латуней**

Марка латуни	Структура	Содержание, %		$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	НВ	Назначение
		Сп	легирующие элементы				
<b>Деформируемые латуни (ГОСТ 15527-70)</b>							
Л90 (томпак)	$\alpha$	88-91	-	260	45	530	Ленты, листы, трубы, художественные изделия, мембраны, змеевики
Л80	$\alpha$	79-81	-	320	52	550	Ленты, проволока, трубы конденсаторов, теплообменников
Л63	$\alpha + \beta$	62-65	-	330	50	560	Ленты, проволока, прутки, трубы деталей радиаторов, патрубков, прокладки
ЛС59-1	$\alpha + \beta$	57-60	0,8-1,9 Pb	400	45	900	Полосы, прутки, втулки, краны, тройники, прокладки
ЛЖМц59-1-1	$\alpha + \beta$	57-60	0,6-1,2 Fe; 0,1-0,4 Al; 0,3-0,7 Sn; 0,5-0,8 Mn	450	50	880	Проволока, трубы
ЛАЖ60-1-1	$\alpha + \beta$	58-61	0,75-1,5 Al; 0,75-1,5 Fe; 0,1-0,6 Mn	450	45		Трубы, прутки, свариваемые элементы аппаратуры
<b>Литейные латуни (ГОСТ 17711-93)</b>							
ЛЦ16К4	$\alpha + \beta$	78-81	3,0-4,5 Si	300	15	100	Арматура, детали приборов
ЛЦ40Мц3Ж	$\alpha + \beta$	53-58	3,0-4,0 Mn; 0,5-1,5 Fe	500	10	100	Детали ответственного назначения, гребные винты и их лопасти
ЛЦ23А6Ж3Мц2	$\alpha + \beta$	64-68	4,0-7,0 Al; 2,0-4,0 Fe; 1,5-3,0 Mn	700	7	160	Гайки нажимных винтов, червячные винты

## **Бронза**

*Бронзы* - это сплавы меди со всеми другими элементами: оловом, алюминием, кремнием, бериллием и др. Бронзы различают по химическому составу и состоянию обработки. В некоторых случаях прочность таким способом может быть повышена до 750 МПа, по сравнению с обычной прочностью двухкомпонентных бронз-400-500МПа.

Бронзы называют по наличию легирующего элемента в её ставе: алюминиевые, оловянистые, кремнистые, бериллиевые и т.д. Бронзы маркируют «Бр» (бронза) за которыми следуют буквы и цифры, указывающие на название и содержание в % легирующих элементов. Например: Бр ОЦС 4-4-2,5 - 4% олова + 4% цинка + 2,5% свинца, остальное медь. Бр КМц 3-1 - 3% кремния + 1% марганца, остальное медь и т.д.

### **Оловянная бронза**

Оловянистые бронзы известны ещё в бронзовом веке. Они как и другие сплавы делятся на деформируемые <10% Sn и литейные >10% Sn. В прошлом бронзы получили название в зависимости от их назначения: колокольная (20-30% олова), зеркальная (30-35% олова), монетная (4-10% олова), пушечная (8-18% олова). Оловянистые бронзы отличаются хорошими литейными свойствами - малой усадкой. С целью экономии олова в бронзы добавляют цинк в таком количестве, чтобы он полностью растворялся в меди, образуя твёрдый раствор, тем самым повышая механические свойства. Для улучшения обрабатываемости резанием в оловянистые бронзы добавляют свинец (БрО6Ц4С17 - олово-6%, цинк - 4%, свинец - 17%, остальное, медь). Литейные оловянистые бронзы применяются для пароводяной арматуры, обладая высокой коррозионной стойкостью в воде и на воздухе.

Деформируемые оловянистые бронзы характеризуются более низким содержанием олова Бр ОЦ4 -3 -олово-4%, цинк-3%, остальное медь и имеют однофазную структуру твёрдого раствора. После холодной обработки давлением бронзы подвергаются отжигу при 600-700<sup>0</sup>С. Они пластичны и более прочны, чем



литейные. Кроме того, деформируемые оловянистые бронзы обладают высокими упругими свойствами, поэтому их используют для получения пружин, мембран и др.

**Химический состав и механические свойства некоторых марок оловянных бронз**

Марка сплава	Содержание, %				$\sigma_{в}$ , МПа	$\delta$ , %	НВ	Назначение
	Sn	Zn	Pb	P				
Бронзы, обрабатываемые давлением (ГОСТ 5017-74)								
БрОФ4-0,25	3,5-4,0	-	-	0,2-0,3	340	52	650	Трубки аппаратов и приборов
БрОФ6,5-0,15	6-7	-	-	0,1-0,25	400	65	700	Ленты, полосы, пружинящие контакты электрооборудования, мембраны, сетки
БрОЦ4-3	3,5-4,0	2,7-3,3	-	-	350	40	600	Ленты, полосы, прутки, проволока для пружин, крепежные детали
БрОЦС4-2,5	3-5	3,5	1,5-3,5	-	350	40	600	Ленты и полосы для прокладок во втулках и подшипниках
Литейные бронзы (ГОСТ 613-79)								
БрО10Ф1	9-11	-	-	0,4-1,1	250	7	800	Сложное литье, подшипники, шестерни, червячные передачи
БрО5Ц5С5	4-6	4-6	4-6	-	180	4	600	Водная и паровая арматура, шестерни
БрО6Ц6С2	5-7	5-7	1-3	-	-	-	-	Сложные отливки, художественное литье

### Алюминиевые бронзы

Алюминиевые бронзы обычно содержат от 5 до 10% алюминия. Механические и коррозионные свойства этих бронз выше, чем у оловянистых. Алюминиевые бронзы можно подвергать закалке и старению. Однофазные алюминиевые бронзы (БрА7) более пластичны, чем двухфазные и относятся к деформируемым. Они обладают высокой прочностью и пластичностью ( $\sigma_{в}$  = 400-450 МПа,  $\delta$  = 60%).

Легируют алюминиевые бронзы железом, никелем, марганцем и др. для устранения литейных недостатков и увеличения механических свойств после упрочняющей термической обработки (закалка + старение). Например, у бронзы

БрАЖН 10-4-4 твёрдость увеличивается от 1500НВ до 4000НВ, и из неё изготавливают седла клапанов, направляющие втулки, шестерни и др.

Кремнистые бронзы содержат до 3% кремния и являются заменителями оловянистых бронз, их дополнительно легируют никелем и марганцем. Обладая высокой упругостью и антикоррозионными свойствами эти бронзы применяются для изготовления упругих элементов различных механизмов. Из бронзы БрКМц 3-1 изготавливаются стопорные и упорные кольца насосов, мембраны датчиков давления

### Свинцовые бронзы

Свинцовые бронзы обладают высокими антифрикционными свойствами, хорошей теплопроводностью (Бр С30). Поэтому из этих бронз изготавливают вкладыши подшипников, работающих при больших давлениях и скоростях

### Бериллиевые бронзы

Бериллиевые бронзы содержат не более 2,5% бериллия (БрБ2). Бериллий образует с медью твёрдый раствор переменной растворимости и, следовательно, такие бронзы можно подвергать упрочняющей термической обработке (закалка 780<sup>0</sup>С + старение 320<sup>0</sup>С). После термической обработки повышаются как прочностные, так и упругие свойства:  $\sigma_b = 1500\text{МПа}$ ,  $\tau_{упр.} = 600-740\text{МПа}$ . Бериллиевую бронзу применяют в виде пружин в часовых механизмах, электроаппаратуре, в качестве упругих контактов.

**Механические свойства и назначение безоловянных бронз (ГОСТ 18175–78, ГОСТ 493–79)**

Марка бронзы	Содержание, %	Механические свойства		Назначение
		$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	
<b>Алюминиевые бронзы</b>				
БрАЖ9-4	9 Al, 4 Fe	600	40	Для изготовления проката, штампованных шестерен, втулок, труб Арматура, обоймы подшипников
БрАЖН10-4-4	10 Al, 4Fe, 4 Ni	650	35	
БрА10ЖЗМц2	10 Al, 3 Fe, 2 Mn	390	10	
<b>Кремнистая бронза</b>				
БрКМц3-1	3 Si, 2 Mn	380	35	Прутки, лента, проволока для пружин
<b>Свинцовая бронза</b>				
БрС30	30 Pb	600	4	Антифрикционные детали
<b>Бериллиевая бронза</b>				
БрБ2	2 Be	1200	4	Полосы, лента, прутки, проволока, пружины, мембраны, контакты

## **Алюминий и его сплавы**

Алюминий сравнительно молодой металл.

Алюминий имеет небольшую плотность (он в 3 раза мягче Fe), высокую пластичность, хорошо сваривается, но трудно обрабатывается резанием.

Алюминий и его сплавы необходимы для самолето- и машиностроения, строительства зданий, линий электропередач и т.д., из него изготавливают посуду.

Алюминиевые сплавы бывают литейные и деформируемые.

Литейные сплавы: АК7, АК5М2п, АК4М2Ц6, АК12ММгН.

АК7М2п - алюминиевый сплав, 7% Si, 2,5% Cu, 2,5 %Ni, остальное Al.

АЛ 4, АЛ21, АЛ 27, АЛ 30...

1. Al - Si (силумины) Si до 13%

АЛ2, ФЛ4, ФЛ9 - для деталей ДВС (коррозионностойкие, жаропрочные).

2. Al - Mg (магналин) Mg до 11%

АЛ8, АЛ12, АЛ13 - легкие, прочные, пластичные.

3. Al - Cu, Cu до 15% - для деталей ДВС.

АЛ7; АЛ19.

Деформируемые сплавы.

Дюралюминий дляковки, штамповки, прокатки. Содержание: Cu 2,2 ÷ 5,2%; Mg 0,2 ÷ 1,8%; Mn 0,3 ÷ 1,0% остальное алюминий.

## **Антифрикционные материалы**

Антифрикционные материалы используются для изготовления деталей, работающих в условиях трения (скольжения): подшипников, втулок, направляющих, вкладышей.

Вкладыши подшипников скольжения непосредственно соприкасаются с вращающимися валами. Поэтому их изготавливают из сплавов, достаточно пластичных, чтобы легко прирабатывались к поверхности вращающегося вала, и достаточно твердых, чтобы служили опорой для вала. Однако, твердость не должна быть слишком высокой, чтобы не вызвать быстрое истирание вала. Кроме того,

сплавы должны иметь малый коэффициент трения с материалом вращающегося вала, обладать микропористостью для удержания смазки и достаточно низкой температурой плавления, удобной для заливки подшипников.

Материалы, удовлетворяющие всем этим требованиям, называют антифрикционными.

### **Практическая работа № 8. Выбор вида и режима термической обработки конкретных деталей**

Цель работы: На практике ознакомиться с термической обработкой отдельных деталей. Научится проводить термическую обработку отдельных деталей, узнать, как изменяется деталь после термообработки.

#### Краткие сведения из теории

Металлопродукция с металлургических предприятий поступает на судостроительные заводы обычно в виде различного проката, поковок, в литом состоянии. Из них изготавливают заготовки деталей, которые подвергают предварительной термической обработке. Последующей механической обработкой резанием. Получают детали заданной геометрической формы и размеров. Эти детали далее проходят упрочняющую термическую обработку и, в случае сложных механизмов, направляются на сборку отдельных частей судовых механизмов, а из сборочных единиц собираются сами судовые механизмы. Схема обработки и изготовления на судостроительных заводах объемных деталей судов (шестерни, рычаги, шатуны двигателей внутреннего сгорания, и др.) из деформируемых металлических материалов представлена на рис. 8. Как видно, в процессе изготовления деталей судов два (или более) раза проводится термическая обработка.

**Термическая обработка** - процесс обработки изделий из технических материалов путем теплового воздействия (нагрева и охлаждения) с целью изменения их структуры и свойств в заданном направлении.

Термическую обработку применяют как окончательную для получения заданных механических, физических, эксплуатационных свойств деталей судов, а

также промежуточную (предварительную) с целью улучшения технологических свойств (обрабатываемости режущими инструментами, обрабатываемости давлением и др.).

Основными видами предварительной термической обработки заготовок из конструкционных сталей в судостроении являются нормализационный или полный отжиг. Для их проведения заготовки нагревают в случае использования конструкционных доэвтектоидных сталей выше температуры фазового превращения  $1A_{C_3}$  на  $30...50^{\circ}C$  и получают структуру аустенита. После некоторой выдержки при температуре нагрева проводят охлаждение на воздухе (нормализационный отжиг) или вместе с печью (полный отжиг), получая структуру из феррита и перлита.

Предварительная термическая обработка снижает твердость стали и улучшает обрабатываемость деталей резанием. За показатель обрабатываемости при резании принимается обычно численное значение скорости резанием при точении резцами из быстрорежущей стали на токарном станке, которой соответствует стойкость резцов 60 минут (время между двумя переточками режущей кромки инструмента).

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ЗАВОД



**Сортовой прокат**



Архангельский филиал "СРЗ "Красная Кузница"  
АО "Центр Судоремонта "Звездочка"



Изготовление заготовок деталей судовых механизмов  
обработкой давлением (горячей штамповкой и др.)



**Заготовка детали**



Предварительная термическая обработка заготовок  
Механическая обработка резанием на металлорежущих станках



## Детали судовых механизмов



Упрочняющая термическая обработка деталей Доводочные операции обработки (при необходимости)

Сборка механизма



**Механизм (отдельный узел)**

Рис. 8. Типовая укрупненная схема обработки и изготовления объемных деталей судовых механизмов на судостроительном заводе

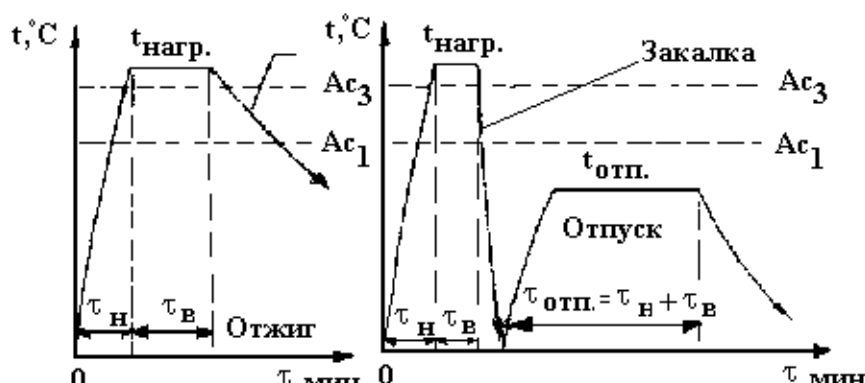
При содержании углерода в конструкционных углеродистых и низколегированных сталях менее 0,5% проводят обычно для заготовок нормализационный отжиг, а для сталей, имеющих более 0,5% углерода - полный отжиг.

Типовая окончательная термическая обработка деталей судовых механизмов и инструментов состоит из двух операций: 1 - закалки с получением на этапе охлаждения с большой скоростью (для углеродистых сталей в воде и др.) из аустенита структуры мартенсита (А М); 2 - отпуска закаленной стали с нагревом до температуры не выше температуры фазового превращения  $A_{c1}$ . Применение термической обработки значительно изменяет механические свойства стали. Схемы основных видов термической обработки для конструкционных доэвтектоидных сталей представлены на рис. 9. Схемы термической обработки деталей из конструкционных сталей.

## Оборудование

Работа выполняется в цеху термической обработки. Для нагрева образцов применяются печи. С целью измерения температуры в рабочую зону печи вставляется термопара. Рабочая камера печи спереди закрывается крышкой. Максимальная температура в рабочей зоне составляет  $1100^{\circ}\text{C}$ .

Для точного измерения и автоматического поддержания заданной температуры применен особый прибор – *потенциометр*.



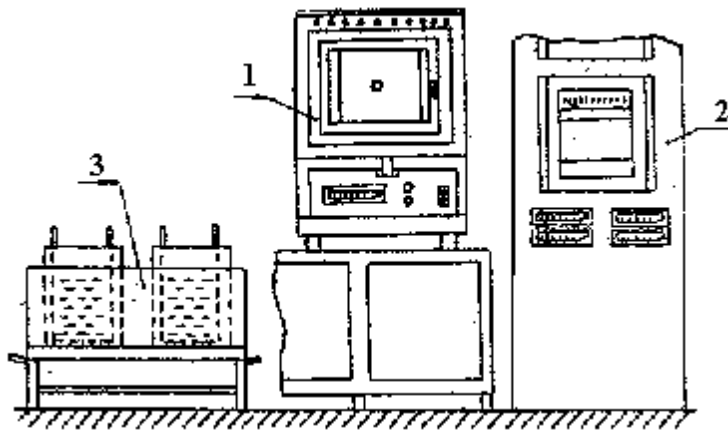


Рис. 10. Схема установки для проведения термической обработки: 1 – печь; 2 – шкаф с потенциометрами; 3 – бачки с охлаждающими жидкостями.

Рядом с печами располагаются на подставке бачки с водой и минеральным маслом. Бачки имеют "корзинки" с отверстиями, посредством которых образцы после завершения охлаждения вынимаются из охлаждающей среды. Схема установки для термической обработки показана на рис. 11.

Таблица 10. Скорость охлаждения в различных средах

Охлаждающая среда	вода	масло	воздух	с печью
Примерная скорость охлаждения, градусов/с	600	100	1	0,05

#### Ход работы

Практическая часть работы выполняется в следующем порядке:

1. Группа делится на несколько подгрупп.
2. В соответствии с заданием преподаватель назначает марку стали детали, которая будет использоваться каждой подгруппой.
3. Обучающимися определяется вид термической обработки необходимый для каждой детали.
4. Далее переходят к назначению режимов термической обработки: температуры нагрева, времени нагрева и выдержки, охлаждающей среды. Некоторые показатели режима в зависимости от конкретного задания указываются преподавателем.

Температура нагрева подсчитывается по формулам, приведенным в табл. 10. Численные значения температур фазовых превращений  $A_{c1}$  и  $A_{c3}$  принимаются по данным табл. 11. При этом вычисляют два численных значения температуры: минимальное  $t_{\min}$  и максимальное  $t_{\max}$ . Эти значения температуры характеризуют оптимальный интервал температуры нагрева. Фактическая величина температуры в печи должна находиться в этом интервале (не ниже  $t_{\min}$ ).

Пример. Закалка стали У12 ( $A_d=730^\circ\text{C}$ ):  $t_{\min} = 730 + 70 = 800^\circ\text{C}$ ;  
 $t_{\max} = 730 + 100 = 830^\circ\text{C}$ .

Таблица 11. Температуры нагрева и охлаждающие среды при термической обработке стали

Вид термической обработки стали	Температура нагрева, $^\circ\text{C}$		Типовая охлаждающая среда
	Стали доэвтектоидные (менее 0,8 %С)	Стали эвтектоидные и заэвтектоидные (от 0,7...0,8 до 2,14%)	
Отжиг	$t_{\text{отж}} = t_{A_{c3}} + (30...50^\circ\text{C})$	$t_{\text{отж}} = t_{A_{c1}} + (30...70^\circ\text{C})$	С печью
Нормализационный отжиг	тн.о. = $t_{A_{c3}} + (50...80^\circ\text{C})$	тн.о. = $t_{A_{cm}} + (30...50^\circ\text{C})$	На спокойном воздухе
Закалка	$t_{\text{зак}} = t_{A_{c3}} + (30...50^\circ\text{C})$	$t_{\text{зак}} = t_{A_{c1}} + (70...100^\circ\text{C})$	Углеродистые стали – в воде, легированные – в масле
Отпуск закаленной стали	Ниже $A_{c1}$ (в зависимости от заданных свойств при 160...650 $^\circ\text{C}$ )		Для большинства сталей – на воздухе

Таблица 12. Температуры критических точек  $A_{c1}$ ,  $A_{c3}$ ,  $A_{cm}$  некоторых сталей

Марка стали	30	35	40	45	50	40X	45Г2	35ХГСА	60С2
$A_{c1}, ^\circ\text{C}$	735	730	727	725	750	743	711	750	750
$A_{c3}, ^\circ\text{C}$	812	802	788	770	760	762	765	830	820
Марка стали	У7	У8	У10		У12	ШХ15	9ХС	ХВГ	Х12М
$A_{c1}, ^\circ\text{C}$	730	730	730		730	750	770	750	810
$A_{c3}, ^\circ\text{C}$	-	-	800		820	900	870	940	-

Время нагрева деталей до заданной температуры вычисляют по следующей эмпирической зависимости:  $t_n = 1,5 D$ , мин,

где  $D$  - диаметр или толщина детали мм.



Время выдержки при заданной температуре  $v = 0,2$  н, мин. Общее время от загрузки образцов в рабочую камеру печи до их выгрузки из печи составляет сумму времени нагрева и выдержки:

$$= n + v$$

Пример. Диаметр детали равен 12 мм:

$$\tau_n = 1,5 \cdot 12 = 18 \text{ мин}; v = 0,2 \cdot 18 = 3,6 \text{ мин}; = 18,0 + 3,6 = 21,6 \text{ мин.}$$

Охлаждающая среда при термической обработке стали назначается по табл.10.

Обучающие получают детали заданной марки и зачищают их от заусенцев на заточном станке (точиле). Далее лаборант измеряет твердость образцов до термообработки методом Роквелла по шкале HRB. Полученное число твердости переводится по таблице в шкалу HB. Величину твердости записывают в таблицу.

После этого детали с помощью щипцов загружаются в печь под руководством лаборанта. По истечении времени нагрева и выдержки печь отключается, детали с помощью щипцов быстро выгружаются из печи и помещаются в заданную охлаждающую среду.

После завершения охлаждения образцы зачищаются на заточном станке (точиле) и лаборант измеряет твердость в зависимости от вида термической обработки по шкале НЖС или HRB. Полученные числа твердости переводятся по таблице в шкалу HB. Величины твердости записывают в таблицу. Форма таблицы для записи результатов термической обработки по всему заданию дана ниже:

Влияние термической обработки на твердость стали

Марка стали. Вид термообработки (т.о.)	Режим термообработки			Твердость стали				
	t,	мин	Среда охлаждения	до т.о.		после т.о.		
				HRB	HB	HRB	HRC	HB

### Содержание отчета

Итоги проведенной работы оформляют в отчете, который должен содержать следующие разделы:

1. Цель работы.

2. Оборудование, приборы и материалы, использованные при выполнении работы.

3. Теоретические положения: понятие термической обработки, типовые виды предварительной и окончательной термической обработки конструкционных сталей, графики термической обработки.

4. Методика проведения работы и полученные результаты. Задание по термической обработке, марка стали, вид термической обработки, выбор режима термической обработки, таблица результатов по всему заданию. Три графика зависимости твердости от изучаемых факторов по всем заданиям.

5. Выводы по работе.

В конце занятия преподаватель путем устного опроса проверяет усвоение знаний по вопросам для самопроверки. Оформленные отчеты проверяются и подписываются преподавателем.

Контрольные вопросы

1. Понятие термической обработки.

2. Какие основные виды термической обработки применяются в судостроении?

3. Какое влияние оказывают полный отжиг и полная закалка с отпуском на механические свойства конструкционной стали?

4. Какие печи применяются для термической обработки в цехах "СРЗ Красная Кузница"?

5. Для каких целей применяются потенциометры?

6. Как определяется температура нагрева при закалке и отжиге?

7. Какая охлаждающая среда применяется в случае нормализационного отжига?

## **Практическая работа № 9**

### **Тема: Определение режима закалки и отпуска стали**

Закалка стали – это процесс термообработки, суть которого заключается в нагреве стали до температуры выше критической точки с последующим быстрым

охлаждением, что и является основным параметром закалки. В результате этой операции повышается твердость и прочность стали, а пластичность снижается.

*Температура закалки.* Пример неполной закалки: Доэвтектоидные стали нагревают выше критической точки  $A_{c3}$  на 30-50°C. Если нагреть до температуры между критическими точками, то в структуре стали также будет присутствовать феррит, что существенно ухудшает свойства.

*Время нагрева* зависит от размеров детали и теплопроводности стали.

*Охлаждение при закалке.* Режим охлаждения при закалке должен исключать по возможности возникновение больших остаточных закалочных напряжений, но в то же время он должен обеспечить необходимую глубину закаленного слоя.

Выбирая охлаждение среды, следует учитывать закаливаемость и прокаливаемость данной стали.

Охлаждающая способность различных сред (см. таблицу).

Таблица «Скорость охлаждения стали в различных средах»

Закалочная среда	Скорость охлаждения °C/с, При температурах °C	
	650-550	330-200
Вода при температуре, °C;		
18.....	600	270
28.....	500	270
50.....	100	270
10%-ный раствор NaOH в воде при 18 °C	1200	300
10%-ный раствор NaCl в воде при 18 °C	1100	300
Минеральное масло.....	100-150	20-50
Спокойный воздух.....	3	1

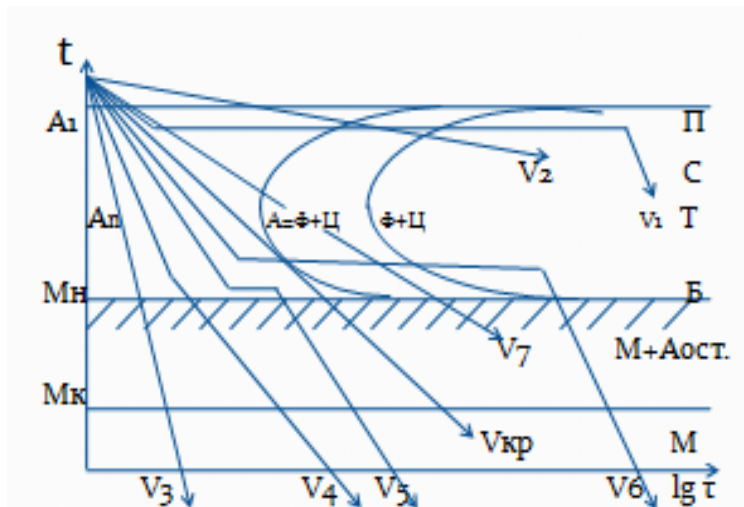
*Закаливаемость* – способность стали принимать закалку, т.е. приобретать при закалке детали высокую твердость.

*Прокаливаемость* – глубина прокаливания закаленной зоны. Чем медленнее происходит превращение аустенита в перлит, т.е., чем больше устойчивость переохлажденного аустенита, чем меньше критическая скорость закалки, тем больше прокаливаемость. Укрупнение зерен аустенита при нагреве под закалку также способствует увеличению прокаливаемости.

Характеристикой прокаливаемости является *критический диаметр* – максимальное сечение, прокаливающееся в данном охладителе на глубину, равную радиусу изделия.

С введением в сталь легирующих элементов закаливаемость и прокаливаемость возрастают. Особенно сильно увеличивают прокаливаемость молибден и бор.

В результате закалки легированных сталей получают структуру регированного мартениста, который содержит не только углерод, но и легирующие элементы.



*Закалку в одном охладителе (v3)* применяют для деталей простой формы. Нагретую деталь быстро переносят в охладитель с водой, маслом или др. *Недостаток:* при неравномерном охлаждении по сечению в детали возникают большие термические напряжения.

*Прерывистую закалку (v4)* используют для деталей сложной формы. Нагретую деталь сначала опускают в воду, а затем в масло. Этот способ часто используют при закалке инструментов из углеродистой стали.

*Ступенчатая закалка (v5)* является более совершенной. Нагретую деталь быстро переносят в охладитель с  $t$  на  $30-50^{\circ}\text{C}$  выше мартенситной точки. Время изотермической выдержки должно быть меньше времени устойчивости аустенита при его температуре.

*Изотермическая закалка (v6).* Нагретую деталь быстро переносят в закалочную среду, где температура выше температуры начала мартенситного превращения ( $250-300^{\circ}\text{C}$  для углеродистых сталей). В результате получается структура нижнего бейнита. Бейнит - структура стали, образующаяся в результате

так называемого промежуточного превращения, при изотермической выдержке.

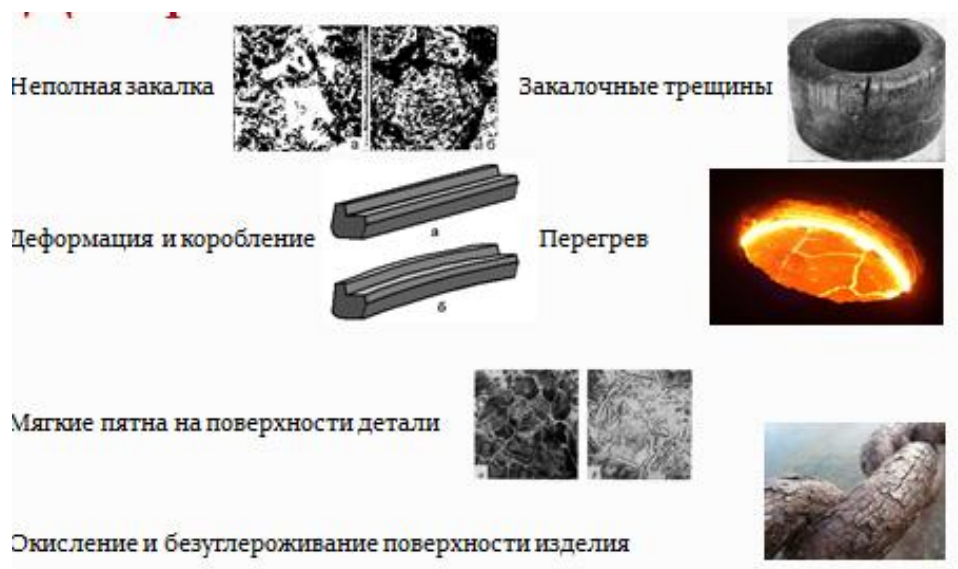
*Закалка с самоотпуском.* Охлаждение проводят в одном охладителе и прерывают, когда сердцевина не совсем охладилась. За счет этого тепла поверхностные слои изделия вновь нагреваются, и таким образом, происходит отпуск.

*Поверхностная закалка.* Один из способов увеличения твердости поверхностных слоев изделия. Общим для всех способов поверхностной закалки является нагрев поверхностного слоя детали до температуры закалки с последующим быстрым охлаждением. Толщина закаленного слоя при поверхностной закалке определяется глубиной нагрева.

*Закалка токами высокой частоты (ТВЧ).* Чем больше частота тока, тем тоньше получается закаленный слой. Обычно используют машинные генераторы с частотой 500-15000 Гц ламповые генераторы с частотой более 1000000 Гц. Нагрев детали ТВЧ происходит за 3-5 с. После нагрева в индукторе деталь быстро перемещается в специальное охлаждающее устройство – спрейер, через отверстия которого на нагретую поверхность разбрызгивается закалочная жидкость. Поскольку при нагреве ТВЧ сердцевина изделия нагревается ниже  $A_{c1}$ , перед закалкой для улучшения свойств его подвергают нормализации.

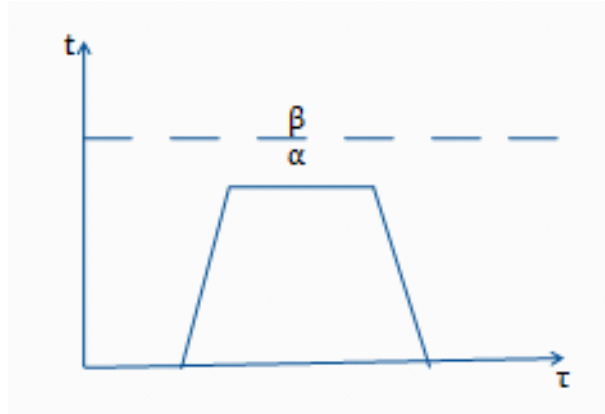
*Пламенную поверхностную закалку* применяют для закалки изделий с большой поверхностью. Нагревается с помощью газовых горелок. Толщина слоя при этом способе нагрева получается 2-4 мм. Недостаток: сложность регулирования температуры нагрева, а отсюда возможность сильного перегрева.

### Дефекты закалки



## Отпуск

Отпуском называется нагрев закаленной стали до температуры ниже критической точки  $A_{c1}$ , выдержка при этой температуре с последующим охлаждением (обычно на воздухе).

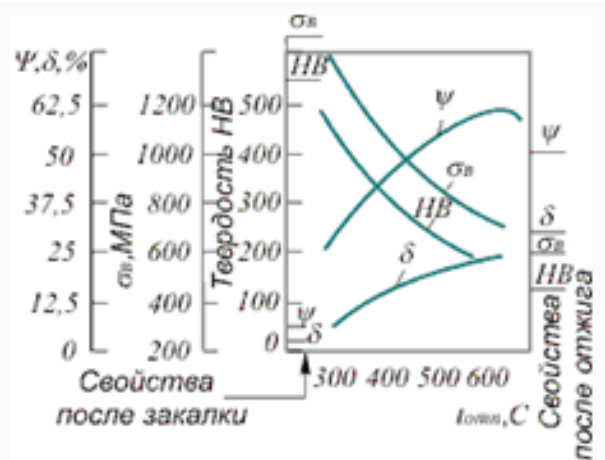


Отпуск является окончательной термической обработкой. Целью отпуска является изменение строения свойств закаленной стали: повышение вязкости и пластичности, уменьшение твердости, снижение внутренних напряжений.

С повышением температуры нагрева прочность обычно уменьшается, а удлинение, сужение, а также ударная вязкость растут (см. рисунок)

В зависимости от температуры нагрева различают три вида отпуска:

- Низкотемпературный
- Среднетемпературный
- Высокотемпературный



## Отпуск низкотемпературный

При *низкотемпературном* отпуске закаленную сталь нагревают до 150-250 °C. При низком отпуске частично снимаются закалочные напряжения. Низкий отпуск применяют для инструментальных сталей, после цементации, поверхностной закалки и т.д. Этому отпуску подвергают режущий и мерительный инструмент, а также машиностроительные детали, которые должны обладать высокой твердостью и износостойкостью.



### **Отпуск среднетемпературный**

При *среднетемпературном* отпуске закаленную сталь нагревают до 300-400°C. В результате получается структура бейнита. После такого отпуска в изделиях получается сочетание сравнительно высокой твердости и прочности с хорошей упругостью и достаточной вязкостью. Поэтому среднему отпуску подвергают пружины и рессоры.

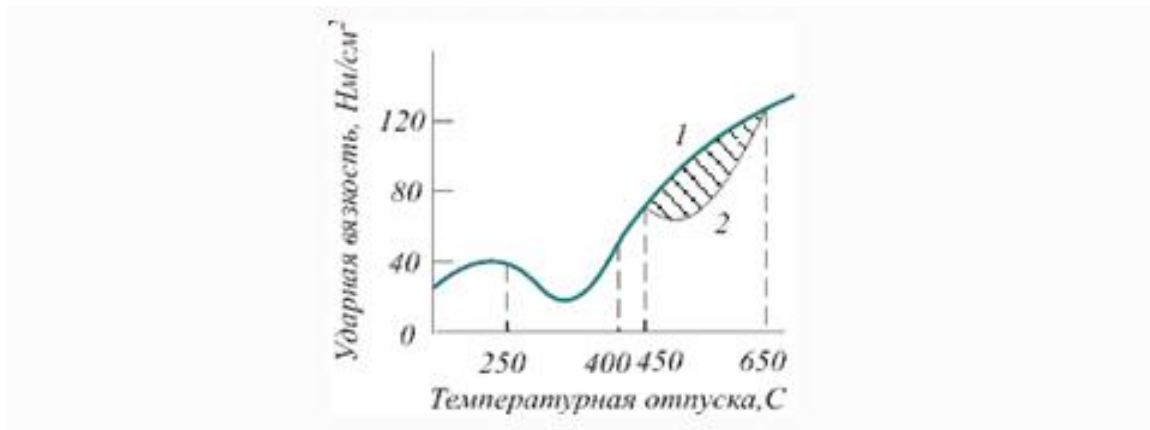


### **Отпуск высокотемпературный**

При высокотемпературном отпуске закаленные изделия нагревают до 450-650 °С. В отличие от сорбита, образующегося после нормализации, когда цементит пластичный, после высокого отпуска цементит приобретает зернистую форму (рис. 6). Это существенно повышает ударную вязкость при одинаковой твердости по сравнению с нормализованной сталью. Поэтому его применяют для деталей машин, испытывающих при эксплуатации ударные нагрузки. При нагреве 650-700 °С получают структуру зернистого перлита (рис. в).



Обычно ударная вязкость с температурой отпуска увеличивается, а скорость охлаждения после отпуска не влияет на свойства. Но для некоторых конструкционных сталей наблюдается уменьшение ударной вязкости (см. рис.). Этот дефект называется *отпускной хрупкостью*. Различают отпускную хрупкость первого и второго рода.



### **Отпускная хрупкость 1 рода**

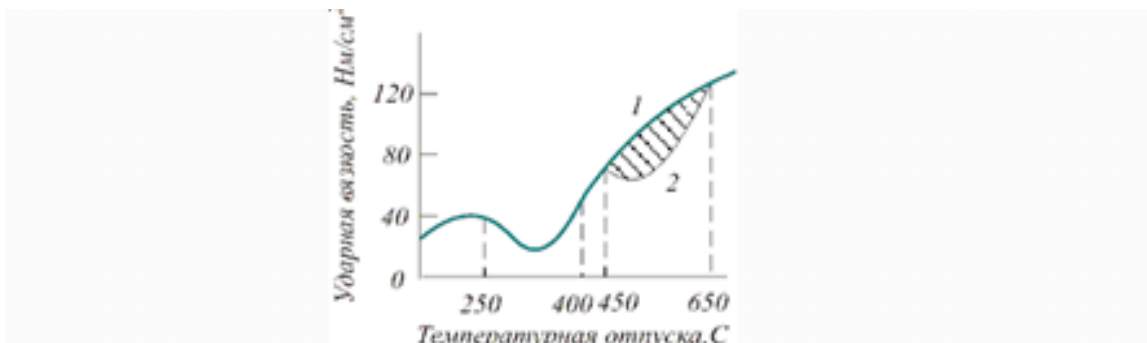
*Отпускная хрупкость 1 рода* наблюдается при отпуске в области 300 °С у легированных, а также углеродистых сталей. Не зависит от скорости охлаждения. Процесс протекает быстрее вблизи границ зерен по сравнению с объемами внутри зерна. Благодаря этому вблизи границ создаются концентрации напряжений, границы становятся хрупкими. Отпускная хрупкость 1 рода «необратима», т.е. при повторных нагревах тех же деталей она в них не наблюдается.

### **Отпускная хрупкость 2 рода**

*Отпускная хрупкость 2 рода* наблюдается у легированных сталей при медленном охлаждении после отпуска в области 450-650 °С (2 линия на рис.). При высоком отпуске по границам зерен происходит образование и выделение дисперсных включений карбидов. Приграничная зона обедняется легирующими



элементами. При последующем медленном охлаждении происходит восходящая диффузия фосфора из внутренних объемов зерна к границам. Отпускная хрупкость 2 рода «обратима», т.е. при повторных нагревах этот дефект может повториться.



## Практическая работа № 10

### Тема: Определение методов обработки стали с помощью диаграмм охлаждения и нагрева деталей

#### ВВЕДЕНИЕ

Обработка металлов давлением основана на пластической деформации, т.е. способности металлов под действием внешних сил необратимо изменять свою форму без разрушения. Обработка металлов давлением обеспечивает получение заготовок для производства деталей, а в ряде случаев и самих деталей требуемых форм и размеров с необходимыми механическими и физическими свойствами.

Обработка давлением является высокоэкономичным и прогрессивным технологическим процессом. Свыше 80 % деталей машин и механизмов изготавливается различными методами обработки металлов давлением.

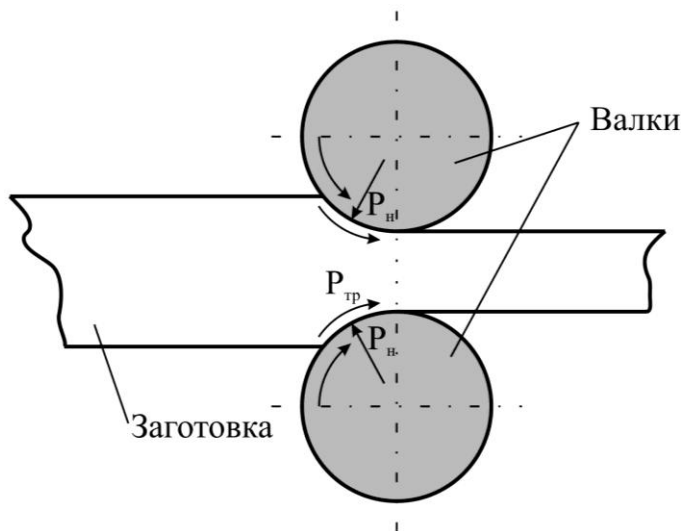
#### 1 ВИДЫ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ

Основными процессами обработки металлов давлением являются: прокатка, волочение, прессование, свободная ковка, объемная штамповка и листовая штамповка.

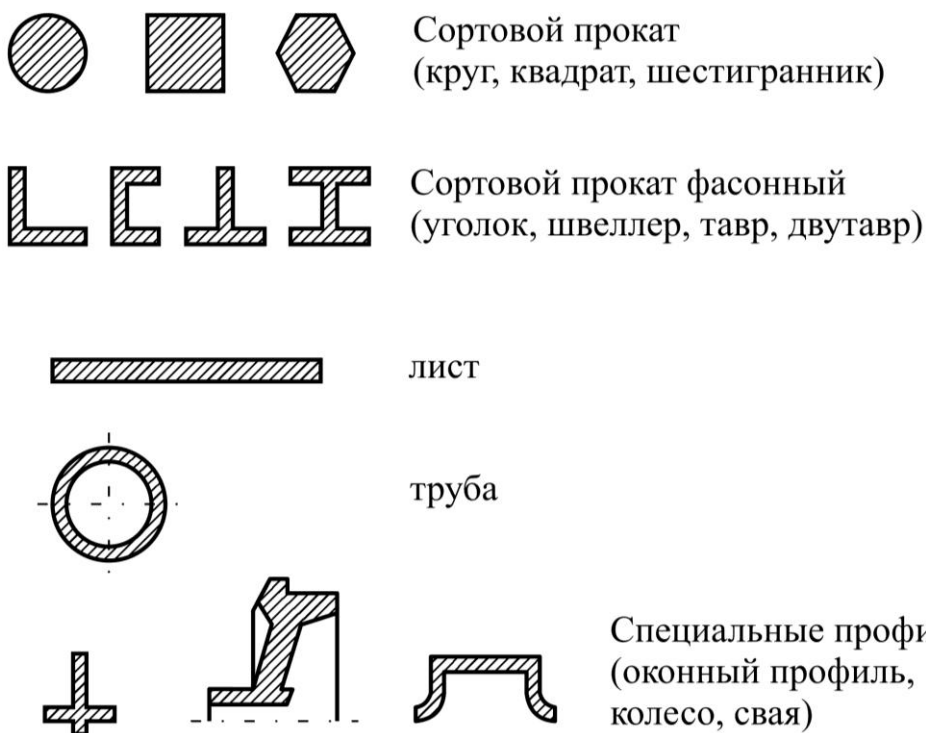
##### 1.1 Прокатка

Прокатка – процесс, при котором заготовка под действием сил трения  $P_{тр}$  втягивается в зазор между вращающимися валками прокатного стана и пластически деформируется силами  $P$ , нормальными к поверхности заготовки (рис. 1 а).

При этом уменьшается сечение и увеличивается длина заготовки. Различают прокатку в холодном и в горячем состояниях. Область применения прокатанного металла весьма широка: непосредственно в конструкциях, в качестве заготовок для изготовления деталей в механических цехах и заготовок для последующей ковки и штамповки.



а



б

Рисунок 1 - Схема продольной прокатки и получаемый сортамент

Форма поперечного сечения прокатного изделия называется профилем (рис. 1 б). Совокупность различных профилей и их размеров называют сортаментом. Сортамент проката делится на следующие основные группы: сортовой, листового, трубы и прокат специального назначения.

Прокатный стан состоит из одной или нескольких рабочих клеток, передаточного механизма и электродвигателя. В рабочей клетке располагаются валки.

Прокатные станы классифицируют по трем важнейшим признакам: по числу

и расположению валков в рабочих клетях, расположению клетей, по назначению.

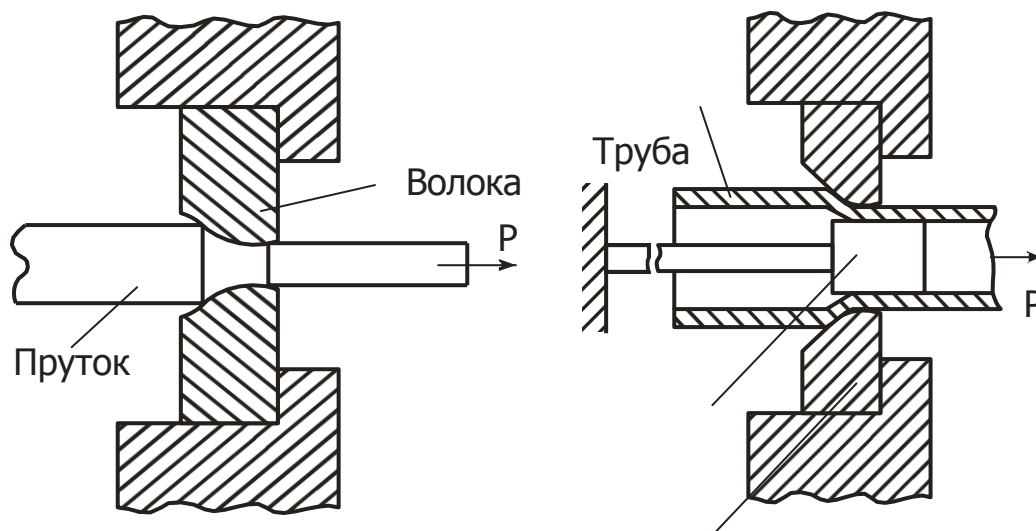
По первому признаку рабочие клетки станов подразделяют на дуо, трио, кварто и многовалковые. Клеть дуо имеет два валка. Такие клетки используют для прокатки заготовок, а также при холодной и горячей прокатке листа и лент. Клеть трио имеет три валка с постоянным направлением вращения каждого. В клетях такого типа прокатывают сортовой металл и листы. Многовалковые клетки имеют шесть, двенадцать, двадцать и более валков, эти клетки используют для холодной прокатки широких и тонких листов и лент.

По числу рабочих клетей прокатные станы подразделяются на одно- и многоклетевые.

По назначению прокатные станы подразделяют на станы для прокатки заготовок и на станы для выпуска готового проката.

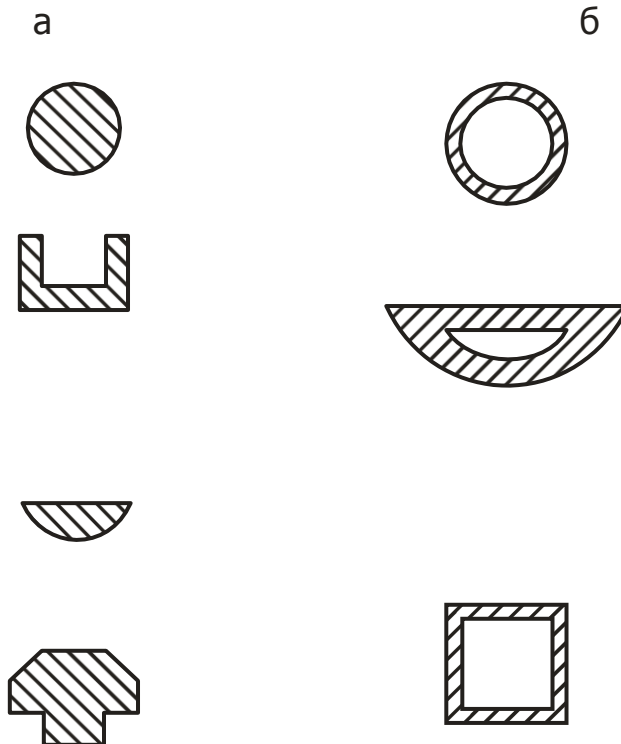
### 1.2 Волочение

Волочение – это процесс протягивания заготовки через отверстие диаметром меньше диаметра заготовки. Волочение может выполняться без оправки для уменьшения внешнего диаметра (рис. 2 а) и с оправкой для уменьшения внешнего диаметра и толщины стенки трубы одновременно (рис. 2 б). Волочение чаще осуществляется в холодном состоянии. Длина заготовки увеличивается, а поперечное сечение уменьшается. Исходными заготовками служат: горячекатаный сортовой прокат (катанка), проволока, трубы из стали, цветных металлов и сплавов. Волочение обеспечивает высокую точность изготовления изделий и хорошее качество поверхности. Волочением получают проволоку диаметром до 0,002 мм, тонкостенные трубы, фасонные профили (рис. 2 в).



Оправка

Волока



в

Рисунок 2 – Схема процесса волочения: а – без применения оправки; б – с применением оправки; в – виды профилей, получаемых волочением.

### *Прессование*

Прессование заключается в выдавливании металла заготовки из замкнутой полости контейнера через отверстие матрицы, соответствующее сечению прессуемого профиля (рис. 3 а). Исходной заготовкой при прессовании являются цветные металлы и сплавы в виде слитков или проката. Стали перед прессованием обычно нагревают. Цветные сплавы прессуют как в горячем, так и в холодном состоянии. При прессовании металл подвергается всестороннему неравномерному сжатию и поэтому имеет весьма высокую пластичность. Прессованием можно обрабатывать такие специальные стали, цветные металлы и их сплавы, которые в виду низкой пластичности (особенно в литом состоянии) другими видами обработки давлением деформировать невозможно или затруднительно.

Прессованием можно получать профили сложных форм (рис. 3 б), которые не могут быть получены другими видами обработки давлением (в частности, прокаткой). Точность прессованных профилей выше, чем прокатанных.

К недостаткам прессования можно отнести большие отходы: весь металл не может быть выдавлен из контейнера, и в нем остается так называемый пресс-остаток, масса которого может достигать до 40 % от массы заготовки.

### *Ковка*

Процесс обработки давлением, при котором нагретый металл заготовки пластически деформируется при многократных ударах молота или давлении плунжера пресса (рис. 4). Течение металла при этом свободное.

Изделие, полученное в результате операций ковки, называется поковкой. Ковка применяется в единичном и серийном производстве, как мелких фасонных поковок, так и весом более 2000 кг. Применяемый для обработки кузнечный инструмент разделяют на основной, т.е. непосредственно деформирующий металл, вспомогательный, предназначенный для удержания заготовки и манипулирования ею в процессе ковки, и измерительный.

Осадка – уменьшение высоты исходной заготовки за счет увеличения площади ее поперечного сечения. Разновидностью осадки является высадка, при которой металл осаживают лишь на части длины заготовки.

Прошивка – получение полостей в заготовке за счет вытеснения материала без его удаления. Прошивкой можно получить сквозное отверстие или углубление (глухая прошивка).

Гибка – придание изогнутой формы по заданному контуру. Гибку применяют для получения непосредственно или в комбинации с другими операциями разнообразных изделий изогнутой формы (угольники, скобы, крючки, кронштейны и др.). Операция гибки сопровождается искажением первоначальной формы поперечного сечения заготовки и уменьшением его площади в зоне изгиба.

Отрубка – полное отделение части заготовки по наружному или внутреннему контуру путем внедрения в заготовку деформирующего инструмента. Отрубку применяют для получения из заготовок большой длины

нескольких коротких, для удаления излишков металла на концах поковок, а также прибыльной и донной частей слитков и т.п.

Сварка – соединение в единое целое отдельных частей или концов заготовок под действием давления в пластическом состоянии. Кузнечной сваркой хорошо сваривается сталь с содержанием углерода 0,15 – 0,25 %.

### *Горячая объемная штамповка*

Это вид обработки металлов давлением, при котором формообразование нагретой заготовки происходит путем заполнения материалом рабочей полости специального инструмента – штампа (рис. 5). В качестве заготовок для горячей штамповки обычно используется прокат круглого, квадратного или прямоугольного профилей. По способу изготовления поковок горячую объемную штамповку разделяют на штамповку в открытых штампах (рис. 5 а) и штамповку в закрытых штампах (рис. 5 б). Штамповка в открытых штампах характеризуется переменным зазором между подвижной и неподвижной частями штампа. В этот зазор вытекает часть металла – облой, который затем удаляется. Штампы, в которых металл заготовки деформируется в замкнутой полости, называют закрытыми. Расход металла в этом случае ниже, так как отсутствует облой, а точность изготовления изделий выше, чем при штамповке в открытых штампах.

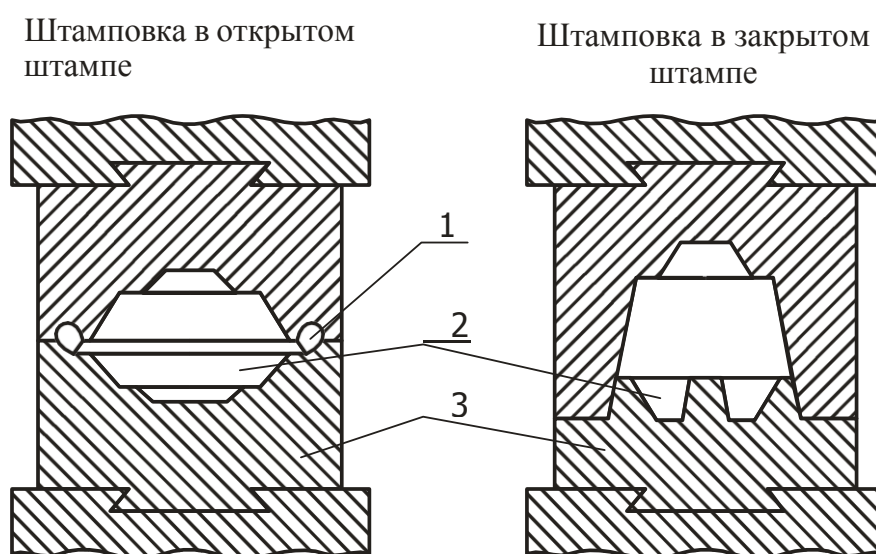


Рисунок 5 - Схема штамповки и получаемые изделия: 1 – облойная канавка; 2 – заготовка; 3 – штамп.

### *Листовая штамповка*

Это процесс изготовления изделий из листов, полос или лент при помощи штампов без предварительного нагрева заготовки. Операции листовой штамповки делятся на две группы: разделительные (рис. 6 а), в результате которых происходит отделение одной части заготовки от другой (резка, вырубка, пробивка), и формообразующие (рис. 6 б), предназначенные для получения изделий пространственной формы путем пластической деформации (вытяжка с утонением и без утонения, гибка, обжим и др.).

Штамповка позволяет получать изделия высокой точности и чистоты поверхности при снижении технологических отходов металла. Наиболее распространенными металлами и сплавами при листовой штамповке являются низкоуглеродистая сталь, медь, латунь, алюминий и его сплавы.

### **Критерии оценки практической работы**

«зачтено» - практическая работа выполнена полно и правильно в соответствии с заданием и требованиями действующего стандарта, даны верные ответы на контрольные вопросы;

«незачтено» - при выполнении практической работы обучающимся допущены существенные ошибки по содержанию учебного материала, работа выполнена с нарушением требований действующего стандарта, в расчетах допущены грубые ошибки, на контрольные вопросы даны неверные ответы.

**Тестирование по теме 2.10. Маркировка металлов и сплавов по  
государственному стандарту**

1 вариант

P6M3

ЧН19Х3Ш

БСт1кп

ЛАНКМц75-2-2,5-0,5-0,5

У12ГА

ВК10

15Х

СЧ10

05

ШХ9

2 вариант

18ХГ

08

У7

P9M4K8

ЛА 77-2

ШХ15

Ст0

ВК3

ЧХ2

СЧ45

3 вариант

ЧХ3

Л96

27ХГР

БСт3сп

Т15К6

25ХГСА

P18

A40ХЕ

У8Г

10кп

4 вариант

У9

P10K5Φ5

ЧС5Ш

ЛЖМц 59-1-1

БСт6сп

СЧ40

33ХС

ТТ7К12

15пс

ШХ15

5 вариант

6 вариант



60  
40ХГРТ  
Ст1кп  
ЧН19Х3Ш  
У10  
ЛАН 59-3-2  
А35  
Р6М5К5  
ВК6  
25ХГСА

А40ХЕ  
25  
У11  
ЧН20Д2Ш  
Ст3Гпс  
СЧ24  
38ХС  
ЛО 90-1  
Р6М3  
ВК15

7 вариант  
Ст2сп  
ЧНМШ  
ЛЖС 58-1-1  
А20 ХГНМ  
СЧ25  
Т5К10  
15ХМ  
Р18К5Ф2  
35  
У12

8 вариант  
Ст6  
40ХМФА  
У13  
ЧН19Х3Ш  
ЛАЖ 60-1-1  
А40ХЕ  
20Х13Л  
Р6М5К5  
ТТ7К12  
40

9 вариант  
45  
У7А  
ЧН15Д3Ш

10 вариант  
ШХ9  
ЧН4Х2  
ВСт3Гпс

30X3MΦ

P9M4K8

BCт1

ШХ15

ЛЦ40С

СЧ30

ТТ20К9

ЛЦ40Мц

СЧ35

BK10

40XΦA

P18

60

У8ГА

### **3.2. Задания для проведения промежуточной аттестации**

**Форма промежуточной аттестации – экзамен (устно, по билетам).**

#### **Условия выполнения задания**

1. Место выполнения задания – кабинет материаловедения.
2. Максимальное время выполнения задания: 60 минут.
3. Источники информации, разрешенные к использованию на экзамене: оборудование, таблицы.

#### **Задания для экзаменуемых**

1. Определение маркировки металлов и сплавов по ГОСТу (в каждом билете первым вопросом).
2. Исходные материалы для производства чугуна.
3. Основы термической обработки стали. Отжиг.
4. Подготовка железных руд к плавке.
5. Основы термической обработки стали. Закалка.
6. Основы термической обработки стали. Отпуск.
7. Устройство доменной печи.
8. Химикотермическая обработка стали. Цементация.
9. Продукция доменного производства.
10. Производство стали в конвертерах.
11. Химикотермическая обработка стали. Азотирование.
12. Производство стали в мартеновских печах.
13. Химикотермическая обработка стали. Цианирование.
14. Производство стали в дуговых печах.
15. Химикотермическая обработка стали. Диффузионная металлизация.
16. Производство стали в индукционных печах.
17. Древесные материалы.
18. Производство меди.

19. Резиновые материалы.
- Экзаменационный
20. Кристаллическое строение металлов.
21. Лакокрасочные материалы.
22. Твердые растворы.
23. Обработка металлов давлением. Прокатка.
24. Химические соединения.
25. Обработка металлов давлением. Волочение.
26. Механические смеси.
27. Обработка металлов давлением. Прессование.
28. Диаграмма состояния для случая неограниченной растворимости компонентов в жидком и твердом состоянии.
29. Обработка металлов давлением. Штамповка.
30. Диаграмма состояния системы железо-углерод.
31. Обработка металлов давлением. Ковка.
32. Правило фаз. Построение кривых охлаждения.
33. Ручная электродуговая сварка.
34. Основные свойства металлов.
35. Автоматическая сварка под слоем флюса.
36. Макроанализ и микроанализ.
37. Сварка в среде защитных газов.
38. Рентгеноструктурный и рентгенографический анализ.
39. Плазменная сварка.
40. Ультразвуковая дефектоскопия.
41. Электрошлаковая сварка.
42. Мело-керосиновый метод дефектоскопии.
43. Газовая сварка.

44. Испытания металлов на растяжение.
45. Электроконтактная сварка.
46. Определение твердости металлов методом Бринелля.
47. Ультразвуковая сварка.
48. Определение твердости металлов методом Роквелла.
49. Газовая и электрическая резка металлов.
50. Испытание металлов на ударную вязкость.
51. Изготовление моделей и стержней в литейном производстве.
52. Испытание металлов на усталость.
53. Литниковая система.
54. Классификация сталей. Влияние примесей на свойство сталей.
55. Центробежное литье.
56. Антифрикционные материалы.
57. Литье по выправляемым моделям.

#### **Показатели и шкала оценивания:**

<b>Шкала оценивания</b>	<b>Показатели</b>
<b>отлично</b>	-правильность и полнота раскрытия теоретических понятий и положений; -техническая грамотность и логическая последовательность ответа; -точность применения научных терминов и обозначений; -наличие единичных ошибок и недочетов.
<b>хорошо</b>	-правильность и сжатость теоретических понятий и положений; -техническая грамотность и логическая последовательность ответа; -точность применения научных терминов и обозначений; -наличие единичных ошибок и недочетов в изложении.
<b>удовлетворительно</b>	-достаточный объем знаний в рамках дисциплины; -использование установленной терминологии; -изложение ответов на вопросы не совсем самостоятельное, с несущественными ошибками и неточностями; -воспроизведение теоретического материала без обобщений и
<b>неудовлетворительно</b>	-фрагментарные невзаимосвязанные знания по дисциплине; -обрывочное изложение с низкой степенью осмысления; -отсутствие ответов на наводящие вопросы преподавателя; -некомпетентность в установленной терминологии и обозначениях; -отсутствие ответов или отказ от ответа.