

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)**

Кафедра «Технологии функциональных и конструкционных материалов»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**«МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»**

для специальности среднего профессионального образования  
**технологического профиля**

**23.02.07 «Техническое обслуживание и ремонт двигателей, агрегатов и систем  
автомобилей»**

Рассмотрено и одобрено  
на заседании кафедры ТФ и КМ  
Протокол № 1 от 31. августа 2021г.  
Зав. кафедрой В.А.Кечин

Владимир 2021

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «**Материаловедение**» для студентов среднего профессионального образования КИТП по специальности 23.02.07 «Техническое обслуживание и ремонт двигателей, систем и агрегатов автомобилей», составитель Н.А. ЕЛГАЕВ, Владим. гос. ун-т им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир, 2021г. – 40с. рассмотрены и утверждены на заседании кафедры ТФ и КМ «31» августа 2021г. (протокол № 1 ) и одобрены для использования в учебном процессе.

Методические указания составлены в соответствии с рабочей программой дисциплины «Материаловедение» и рассчитаны на студентов, обучающихся по направлению 23.02.07 «Техническое обслуживание и ремонт двигателей, систем и агрегатов автомобилей». Служат руководством к проведению лабораторных работ и направлены на формирование основных профессиональных компетенций, отвечающих требованиям ФГОС по направлению 23.02.07 «Техническое обслуживание и ремонт двигателей, систем и агрегатов автомобилей».

Табл. 17. Ил.16

© Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, 2021

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	4
Общие положения.....	4
Работа №1. Методы измерения твердости .....	6
Работа №2. Микроструктурный анализ металлов и сплавов.....	10
Работа №3. Микроструктурный анализ цветных сплавов.....	13
Работа №4. Термическая обработка углеродистых сталей.....	18
Литература .....	37

## ПРЕДИСЛОВИЕ

На современном этапе развития литейно-металлургического комплекса предъявляются постоянно возрастающие требования к уровню профессиональной подготовленности специалистов, работающих в этой сфере. Это связано с интенсификацией и усложнением технологических процессов металлургического производства, что обусловлено ростом требований к качеству производимой продукции.

Для понимания и анализа литейных и металлургических процессов необходимо знание научных основ выбора материала с учетом его состава, структуры, термической обработки и достигаемых при этом эксплуатационных и технологических свойств, необходимых для машиностроения; современных способов производства важнейших металлов, строения и свойств конструкционных материалов, технологических методов формообразования и формоизменения заготовок и деталей.

При составлении пособия внимание было уделено прикладным задачам, представляющим интерес при анализе литейных и металлургических процессов. Пособие включает восемь работ, затрагивающих вопросы научного выбора материала деталей машин, отвечающего эксплуатационным, технологическим и экономическим показателям. При подготовке настоящих методических указаний использован опыт преподавания профильных дисциплин на кафедре «Технологии функциональных и конструкционных материалов» ВлГУ, в первую очередь материалы, изложенные в лабораторных практикумах по материаловедению и технологии конструкционных материалов авторов Л.В.Картоновой, А.В.Костина, В.Б.Цветаевой и др.

## ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Настоящее пособие подготовлено в рамках программы дисциплины «Материаловедение», составленной с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта третьего поколения по направлению подготовки 23.02.07 «Техническое обслуживание и ремонт двигателей, систем и агрегатов автомобилей». Учебная дисциплина «Материаловедение» входит в состав профессионального цикла образовательной программы подготовки специалистов среднего профессионального образования технологического профиля.

Главной целью освоения дисциплины является обучение научным основам выбора материала с учетом его состава, структуры, термической обработки и достигающихся при этом эксплуатационных и технологических свойств, необходимых для машиностроения; в изучении научных основ современных способов производства важнейших металлов, строения и свойств конструкционных материалов, технологических методов формообразования и формоизменения заготовок и деталей.

Общая трудоемкость освоения дисциплины «Материаловедение» составляет 126 академических часов, из них 36 часов отводится на лабораторные занятия. Целью лабораторных занятий является закрепление теоретических представлений о свойствах металлов и сплавов, методах их обработки, а также формирование соответствующих общекультурных и профессиональных компетенций.

Итоговым результатом изучения дисциплины является формирование следующих общекультурных и профессиональных компетенций, отвечающих требованиям стандарта к результатам освоения основной образовательной программы высшего профессионального образования по направлению 23.02.07 «Техническое обслуживание и ремонт двигателей, систем и агрегатов автомобилей».

**знать:**

- основные группы и классы материалов, их свойства и области применения.
- физические, химические и физико-механические свойства чистых компонентов и основных сплавов (ОК-1, 5, 6, 11, ПК-1, 3, 4, 5, 9);
- основы металлургического производства черных и цветных металлов; современное металлургическое производство, его структуру и продукцию;

исходные материалы для производства металлов и сплавов.(ОК-1, 4, 8, 13, ПК-13, 17);

- технологию получения чугуна в доменных печах; процессы производства стали в мартеновских и кислородно-конверторных печах, в электропечах; процессы разлива стали, кристаллизации стали и затвердевание слитков в изложницах и при непрерывной разливке; макроструктуру слитков и пути повышения качества стали.(ОК-4, 6, 8,13, ПК-1, 4, 5, 9,13);
- характеристики литейного производства; элементы литейных форм. Основные свойства литейных сплавов и методы их улучшения. Особенности изготовления отливок в песчаных формах и специальными способами литья. Особенности изготовления отливок из различных сплавов.( ОК-4, 6, 8,13, ПК-1, 4, 5, 9,13,17);
  - физико-механические основы обработки металлов; виды обработки металлов давлением. Прокатное производство. Ковка. Горячая и холодная штамповка. (ОК-4, 6, 8,13, ПК-1, 4, 5, 9,13,17);
- основы термообработки; влияние термической обработки на структуру и свойства материалов, виды термической обработки материалов.(ОК-4, 6, 8,13, ПК-1, 4, 5, 9,13);

**уметь:**

- осуществлять выбор материалов для изделий различного назначения с учетом эксплуатационных требований и охраны окружающей среды (ПК-12);
- разрабатывать режимы плавки, заливки, затвердевания (ОК-1, 3, 4, 6, ПК-1, 3, 5, 6);
- управлять процессом формирования микроструктур сплавов и макроструктур отливок (ОК-1, 3, 4, 6, ПК-1, 3, 5, 6);
- контролировать технологические процессы и получаемые свойства (ОК-1, 6, ПК-1, 3, 7);
- систематизировать и использовать научно-техническую информацию (ОК-1, 6, ПК-1, 3, 7);
- применять современные расчетные программы для решения технологических и исследовательских задач (ОК-1, 6, ПК-1, 3, 7);

**владеть:**

- способностью применения профессиональных знаний при освоении современных технологий получения высококачественных металлических изделий с требуемыми эксплуатационными свойствами (ОК-6, ПК-1, 3, 7);
- навыками технолога и исследователя (ОК-6, ПК-1, 3, 7).

Результаты выполненных практических работ оформляются в виде отчетов каждым студентом индивидуально. Рекомендации по содержанию отчета приведены в каждой работе. В общем случае отчет должен содержать цель работы, теоретическую часть, задание, расчетную часть, полученные результаты и выводы по работе. Теоретическая часть включает общее описание материала по рассматриваемой теме, подробное описание методик и алгоритмов, применяемых для решения поставленной в работе задачи. Расчетная часть содержит ход выполнения работы, перечень полученных результатов с необходимыми комментариями и промежуточными выводами, а также таблицы, графики, рисунки и т.д. На основе результатов, полученных в расчетной части, делаются общие выводы по работе.

В конце каждой работы приведен перечень пособий и монографий, изучение которых позволит более глубоко усвоить материал.

## Лабораторная работа N 1 МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТВЕРДОСТИ

Цель работы: получить представление о твердости и методах ее измерения, научиться измерять твердость наиболее распространенными методами: Бринелля, Роквелла, Виккерса.

### Задания

1. Ознакомиться с методами измерения твердости по Бринеллю, Роквеллу, Виккерсу, микротвердости.
2. Ознакомиться с устройством приборов и научиться измерять на них твердость.
3. Заполнить таблицу, построить график.
4. Ответить на контрольные вопросы.
5. Составить отчет.

### Общие положения

Под твердостью понимают свойство поверхностного слоя материала сопротивляться упругой и пластической деформации или разрушению при местных контактных воздействиях со стороны другого, более твердого тела (индентора) определенной формы и размера. Индентор – тело правильной геометрической формы (шар, конус, трех- и четырехгранная пирамиды) – изготавливается из прочных материалов: закаленной стали, твердого сплава или алмаза.

Очень важно правильно подготовить поверхностный слой образца. Чем меньше глубина вдавливания индентора, тем выше требуется чистота поверхности и тем более строго нужно следить, чтобы свойства поверхностного слоя не изменились вследствие наклепа или разогрева при шлифовании и полировке.

По характеру воздействия индентора на поверхность испытуемого материала различают:

- способ вдавливания, понимая под твердостью сопротивление вещества внедрению в него индентора (методы определения твердости по Бринеллю, Виккерсу, Роквеллу и др.);
- способ по отскоку наконечника – шарика, характеризует упругие свойства вещества (метод Шора);
- способ царапания поверхности, характеризует сопротивление разрушению путем среза (метод Мооса).

Наиболее распространенными методами измерения твердости являются методы Бринелля, Роквелла, Виккерса.

*Метод Бринелля:* в испытуемый металл под определенной постоянной нагрузкой  $P$  вдавливается стальной закаленный шарик соответствующего диаметра  $D$ . Шарик оставляет на испытуемой поверхности отпечаток – лунку, размер которой зависит от твердости материала. Диаметр отпечатка  $d$  измеряют бинокулярной лупой, имеющей шкалу с делениями с точностью до сотых долей миллиметра. По формуле рассчитывают числа твердости в зависимости от диаметра отпечатка

$$HB = \frac{P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Метод Бринелля не рекомендуется применять для сталей с твердостью более 450 HB, а для цветных металлов – более 200 HB. Область применения: определение твердости чугунов, пластичных сталей и цветных сплавов.

**Метод Роквелла** более универсален, так как позволяет испытывать металлы любой твердости, включая и твердые сплавы. Данный метод применим для определения твердости сравнительно тонких образцов. В качестве наконечника используют алмазный конус с углом при вершине 120° (шкала А и С) или стальной шарик диаметром 1,588 мм (шкала В).

Число твердости выражается формулой  $HRC (HRA) = 100 - e$ ,

где  $e = (h - h_0)/0,002$  мм (0,002 мм – цена деления шкалы индикатора прибора для испытания твердости по Роквеллу;  $h_0$  – глубина вдавливания наконечника под действием предварительной нагрузки,  $h$  – глубина вдавливания наконечника под действием основной нагрузки).

Числа твердости при испытании определяются непосредственно отсчетом по шкале индикатора. Шкала В (красная) – применяется для измерения твердости пластичных и отожженных материалов, шкала С – для измерения твердости закаленных сталей, шкала А – для измерения твердости наиболее твердых материалов – твердых сплавов.

**Метод Виккерса** применяют при определении твердости поверхностных слоев (цементируемых, азотированных) и образцов материалов различной твердости в тонких сечениях. При измерении твердости в испытуемый материал вдавливается под нагрузкой Р четырехгранная алмазная пирамида с углом при вершине 136°.

Твердость по Виккерсу вычисляют по формуле, кгс/мм<sup>2</sup>:

$$HV = \frac{P}{d^2} \cdot 1.854$$

При определении твердости на приборе Виккерса измеряют длину диагоналей  $d$  с помощью измерительного микроскопа и по таблице определяют число твердости в зависимости от выбранной испытательной нагрузки.

### Порядок выполнения работы

1. Измерить твердость на приборе Роквелла по шкале В образцов из различных марок углеродистых сталей и перевести ее в числа твердости по Бринеллю (используя переводную таблицу). Результаты измерения занести в табл. 1.1 рассчитать  $\sigma_B$  углеродистых сталей по формуле

$$\sigma_B = 0,36HB.$$

Таблица 1.1

Марка стали	Содержание углерода С,	HRB	HB, кгс/мм <sup>2</sup>	$\sigma_B$ , кгс/мм <sup>2</sup>

	%						
		I	II	III	Сред.		
Армкожелезо	0,02						
20	0,20						
30	0,30						
45	0,45						
60	0,60						

2. Построить график зависимости предела прочности от содержания углерода в сталях.

3. Измерить твердость предложенных образцов по методу Бринелля и определить их предел прочности. Результаты измерения занести в табл.1.2.

Таблица 1.2

Номер образца	Диаметр отпечатка, d, мм	НВ, кгс/мм <sup>2</sup>	$\sigma_B$ , кгс/мм <sup>2</sup>

#### Содержание отчета

1. Название, цель работы, задание.
2. Таблица с экспериментальными данными измерения твердости по Роквеллу и переводу их в числа твердости по Бринеллю, результаты расчета предела прочности углеродистых сталей.
3. График зависимости предела прочности от содержания углерода в сталях. Выводы.
4. Данные по твердости образцов, измеренных методом Бринелля.
5. Ответ на контрольный вопрос.
6. Список использованной литературы.

#### Контрольные вопросы

1. Что понимают под твердостью?
2. Значение измерений твердости среди других способов определения механических свойств металлов и сплавов. Связь между твердостью и другими свойствами металлов.
3. Статические и динамические принципы измерения твердости.
4. Метод измерения твердости по Бринеллю, область применения.
5. Условия и организация измерений твердости по Бринеллю.
6. Метод измерения твердости по Роквеллу, область применения.
7. Метод измерения твердости по Виккерсу, область применения.
8. Измерение микротвердости.
9. Метод измерения твердости у крупных изделий.
10. Метод измерения твердости шариков шарикоподшипников.
11. Принцип подобия при измерении твердости по Бринеллю, Роквеллу и Виккерсу.

## **Лабораторная работа N 2 МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

Цель работы: ознакомиться с микроструктурным методом анализа металлов и сплавов и изучить взаимосвязь между структурой и механическими свойствами металлов и сплавов.

### **Задания**

1. Используя литературу, ознакомиться с влиянием микроструктуры на механические свойства металлов и сплавов.
2. Освоить методику приготовления микрошлифов.
3. Ознакомиться с устройством микроскопа МИМ-7, принципом его работы, зарисовать схему хода лучей.
4. Изучить под микроскопом и зарисовать поверхности образцов после различных обработок. Определить увеличение микроскопа.
5. Измерить микроскопический объект при помощи окулярных и объективных микрометров.
6. Ответить на контрольные вопросы.
7. Составить отчет.

### **Общие положения**

Под микроскопическим анализом (микроанализом) понимают изучение строения металлов и сплавов с помощью металлографического микроскопа при увеличении в 90-1500 раз.

Задачи микроанализа:

- 1) оценка формы и размеров кристаллических зерен металлов и сплавов;
- 2) определение формы и размеров неметаллических включений – сульфидов, оксидов и др.;
- 3) определение микропороков – микротрещин, раковин, пор и др.;
- 4) анализ изменения микроструктуры сплавов после термической, химико-термической обработки и обработки металлов давлением;
- 5) определение химического состава некоторых структурных составляющих по их характерной форме и окраске после применения избирательных травителей.

Для микроанализа из испытуемого материала вырезают образец и путем ряда операций (шлифования, полирования, травления) доводят до такого состояния, когда при рассмотрении его в металлографический микроскоп выявляют неметаллические включения, мелкие поры, графит в чугуне (после шлифования и полирования) или микроструктуры (после шлифования, полирования и травления).

Микроструктуру металлов и сплавов наблюдают в оптическом микроскопе МИМ-7, МИМ-8 и др. Практически увеличение микроскопа определяется произведением увеличения окуляра на увеличение объектива.

### **Порядок выполнения работы**

Первое и второе задания студенты выполняют при подготовке к работе. Обратит внимание, что существенное влияние на свойства оказывают форма и размер неметаллических включений, неоднородность структуры.

Третье задание выполняется под руководством преподавателя всей группой.

Четвертое задание выполняется бригадами по 2–3 человека на металлографическом микроскопе МИМ-7. Каждая бригада получает комплект из 4 образцов сталей и чугунов:

1 – после шлифовки (сталь); 2 – после полировки (сталь); 3 – после полировки (чугун); 4 – после полировки и правления (сталь).

Установить шлиф на предметный столик микроскопа, рассмотреть и зарисовать наблюдаемую поверхность после различных видов обработки (в квадрате 40x40 мм), указать наличие и отсутствие неметаллических включений и характер их распределения.

Определить увеличение микроскопа, используя характеристики: фокусное расстояние, числовую апертуру объектива и увеличение окуляра.

При выполнении пятого задания необходимо сначала определить цену деления окулярмикрометра:

1. Вставить окулярмикрометр и объектив.
2. На предметный столик поместить объектмикрометр таким образом, чтобы шкала с делениями находилась над объективом.
3. Вращением макроскопического и микроскопического винтов привести на фокус шкалу объектмикрометра.
4. Вращением окуляра совместить шкалу окулярмикрометра со шкалой объектмикрометра.
5. Определить, в какое число делений окулярмикрометра укладывается шкала объектмикрометра (сколько делений одной шкалы приходится на другую).
6. Определить цену деления шкалы окулярмикрометра  $C_{ок}$  по формуле

$$C_{об} \cdot A_{об}$$

$$C_{ок} = \text{-----} \text{ мм,}$$

$$A_{ок}$$

где  $C_{об} = 0,01 \text{ мм}$  – цена деления шкалы объектмикрометра;

$A_{об}$  – число совмещенных делений объектмикрометра;

$A_{ок}$  – число совмещенных делений окулярмикрометра.

*Например*, шкала объектмикрометра укладывается на 25 делениях шкалы окулярмикрометра.

Тогда

$$0,01 \cdot 100$$

$$C_{ок} = \text{-----} = 0,04 \text{ мм}$$

$$25$$

Для измерения микроскопических объектов необходимо:

1. Настроить микроскоп на измеряемый объект.
2. Совместить данный объект со шкалой окулярмикрометра.
3. Измерить микроскопический объект, т. е. определить, сколько делений шкалы окулярмикрометра занимает объект.
4. Определить величину измеряемого объекта, для чего полученное число делений шкалы окулярмикрометра, которое занимает объект, умножить на цену деления окулярмикрометра.

*Например*, объект занимает 6 делений шкалы окулярмикрометра.

Цена деления окулярмикрометра 0,04 мм. Величина измеряемого объекта

$$6 \cdot 0,04 = 0,24 \text{ мм.}$$

#### **Содержание отчета**

1. Название, цель работы, задание.
2. Оптическая схема микроскопа МИМ-7 со спецификацией основных элементов схемы.
3. Микроструктуры шлифованного, полированного и травленных микрошлифов стали и чугуна с необходимыми объяснениями, увеличение микроскопа.
4. Результаты измерения микроскопических объектов.
5. Ответ на контрольный вопрос.
6. Список использованной литературы.

#### **Контрольные вопросы**

1. Задачи и область применения микроструктурного анализа.
2. Методика приготовления шлифов.
3. Принципиальная оптическая схема микроскопа МИМ-7.
4. Максимальное увеличение микроскопа. Разрешающая способность микроскопа.
5. Что собой представляют границы зерен?
6. Оценка зерна в металлах и сплавах с помощью окуляра и объектив-микрометра.
7. Влияние размеров зерна на механические свойства металлов и сплавов.

### **Лабораторная работа N 3 МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ**

Цель работы: изучение микроструктуры и свойств цветных сплавов, установление связи между структурой сплава и соответствующей диаграммой.

#### **Задания**

1. Зарисовать диаграммы фазового равновесия следующих систем Cu-Zn (до 50 % Zn), Cu-Sn (до 30 % Sn), Al-Si, Al-Cu.

28

2. Построить кривые охлаждения для четырех сплавов (состав задает преподаватель) указанных систем и описать процессы превращений, происходящие в сплаве.
3. Провести под микроскопом анализ структуры следующих сплавов: латуни ( $\alpha$ ,  $\alpha + \beta$ ), оловянистой бронзы Бр05 (литье, отжиг), силумина АЛ2 до и после модифицирования, титановых сплавов, баббита (Б83).
4. Ответить на контрольные вопросы.
5. Составить отчет.

#### **Общие положения**

Цветные сплавы широко используются в промышленности. Рассмотрим структуру наиболее часто применяемых сплавов.

*Сплавы меди.* Медные сплавы разделяют на две группы: латуни – сплавы меди с цинком и бронзы – сплавы меди со всеми другими элементами. Латуни – сплавы меди с цинком содержат не более 45 % цинка. Различают однофазные латуни  $\alpha$ , содержащие до 39 % цинка (Л70, Л68, Л62), и двухфазные ( $\alpha + \beta$ ), содержащие 39-45 % цинка (Л60, Л59, ЛЦ40Мц1.5) (ГОСТ 15527-70, ГОСТ 17711-93).

Однофазные латуни состоят из зерен однофазного твердого  $\alpha$  – раствора. Они не упрочняются при термической обработке, так как при нагревании до температуры плавления их структура не изменяется. Повысить прочность однофазных латуней можно только при холодной деформации.

Неодинаковая окраска зерен под микроскопом возникает вследствие анизотропии.

Латунь Л68 (68 % меди, остальное цинк) обладает высокой пластичностью, антикоррозионной стойкостью и используется чаще для изготовления изделий прокаткой и штамповкой (проволока, листы, трубы и др.).

К двухфазным латуням ( $\alpha + \beta$ ) относятся сплавы, содержащие от 30–45 % цинка.

Латунь Л59. В структуре этой латуни, кроме  $\alpha$  – фазы, присутствует более твердая и хрупкая  $\beta'$ . Под микроскопом кристаллы  $\beta'$  – фазы имеют темную окраску (рис. 3.1, а).

При температуре выше 454 °С в двухфазных латунях присутствует фаза  $\beta$ , которая отличается большей пластичностью. При 454 °С в фазе  $\beta$  происходит процесс упорядочения, образуется  $\beta'$ , фаза имеет большую твердость и очень низкую пластичность, что затрудняет обработку сплавов давлением в холодном состоянии. Поэтому двухфазные латуни деформируют при температуре существования фазы (рис. 3.1, б)  $\alpha$

Применяются сложные латуни, в которые для изменения механических и химических свойств дополнительно вводят свинец, олово, кремний, алюминий (свинец улучшает обрабатываемость резанием ЛС 59-1), олово повышает коррозионную стойкость (ЛЮ 60-1), кремний и алюминий повышают механические свойства (ЛК 80-3, ЛА77-2).

Бронзы – это сплавы меди с оловом, алюминием, кремнием, свинцом, бериллием. Сплавы меди с оловом – оловянистые бронзы (Бр 010, 10 % Sn, остальное – Cu) очень давно и широко применяются в промышленности благодаря высокой коррозионной стойкости и антифрикционным свойствам. Микроструктура литой оловянистой бронзы (рис. 3.1, в) состоит из неоднородного твердого  $\alpha$  – раствора (твердого раствора олова в меди) и эвтектоида  $\alpha + \text{Cu}_31\text{Sn}_8$ . Темные участки неоднородного твердого  $\alpha$  – раствора богаты медью, светлые – оловом, в эвтектоиде, на светлом фоне соединения  $\text{Cu}_31\text{Sn}_8$  видны темные точечные включения  $\alpha$ –фазы.

В последнее время оловянистые бронзы заменяются более дешевыми и прочными алюминиевыми бронзами.

Алюминиевые бронзы содержат до 11% алюминия, для повышения механических свойств в них добавляют железо и никель.

Бронзы, содержащие до 8% алюминия, – однофазные (БрА-7), состоят из твердого раствора, при термической обработке не упрочняются, для упрочнения проводят холодную деформацию.

В двухфазных бронзах, содержащих 9 – 11 % алюминия, в твердом состоянии происходит эвтектоидное превращение (БрАЖН-10-4.4). После отжига в структуре этих доэвтектоидных бронз видны светлые зерна твер-

дого раствора и участки пластинчатого эвтектоида ( $\alpha + \gamma_2$ ).

В отожженном состоянии бронзы очень пластичны. Для повышения твердости проводят термическую обработку, которая состоит из закалки с  $900\text{ }^\circ\text{C}$  в воду и отпуска  $650\text{ }^\circ\text{C}$ . После закалки они имеют игольчатую структуру, состоящую из зерен  $\alpha$  и  $\beta$  твердых растворов. Алюминиевые бронзы имеют хорошие механические и высокие антифрикционные свойства.

Сплавы на основе алюминия обладают малой прочностью. Для получения прочных сплавов их легируют различными элементами в количествах, способствующих образованию двухфазной структуры (ГОСТ 1583-89, ГОСТ 4784-74).

Типичными представителями деформируемых сплавов на алюминиевой основе являются дюралюминий (Д1, Д16) и литейных – силумин АЛ2 (ГОСТ 4789-97).

Литая структура дюралюминия характеризуется наличием фазы  $\alpha$  с расположенными по ее границам кристаллами S-фазы и  $\text{Al}_2\text{Cu}$ . После закалки из области  $\alpha$ -твердого раствора от температуры  $505 - 510\text{ }^\circ\text{C}$  сплав приобретает однородную структуру. Процесс старения сплава Д1 (3,8 – 4,8 % Cu; 0,6 % Mg; 0,6 % Mn; < 0,7 % Si) приводит к выделению дисперсионных частиц S-фазы и ( $\text{Al}_2\text{Cu}$ ), невидимых под оптическим микроскопом. Сплав Д1 обладает достаточной прочностью и пластичностью. Прокаткой или штамповкой из него изготавливают листы, прутки, трубы и др.

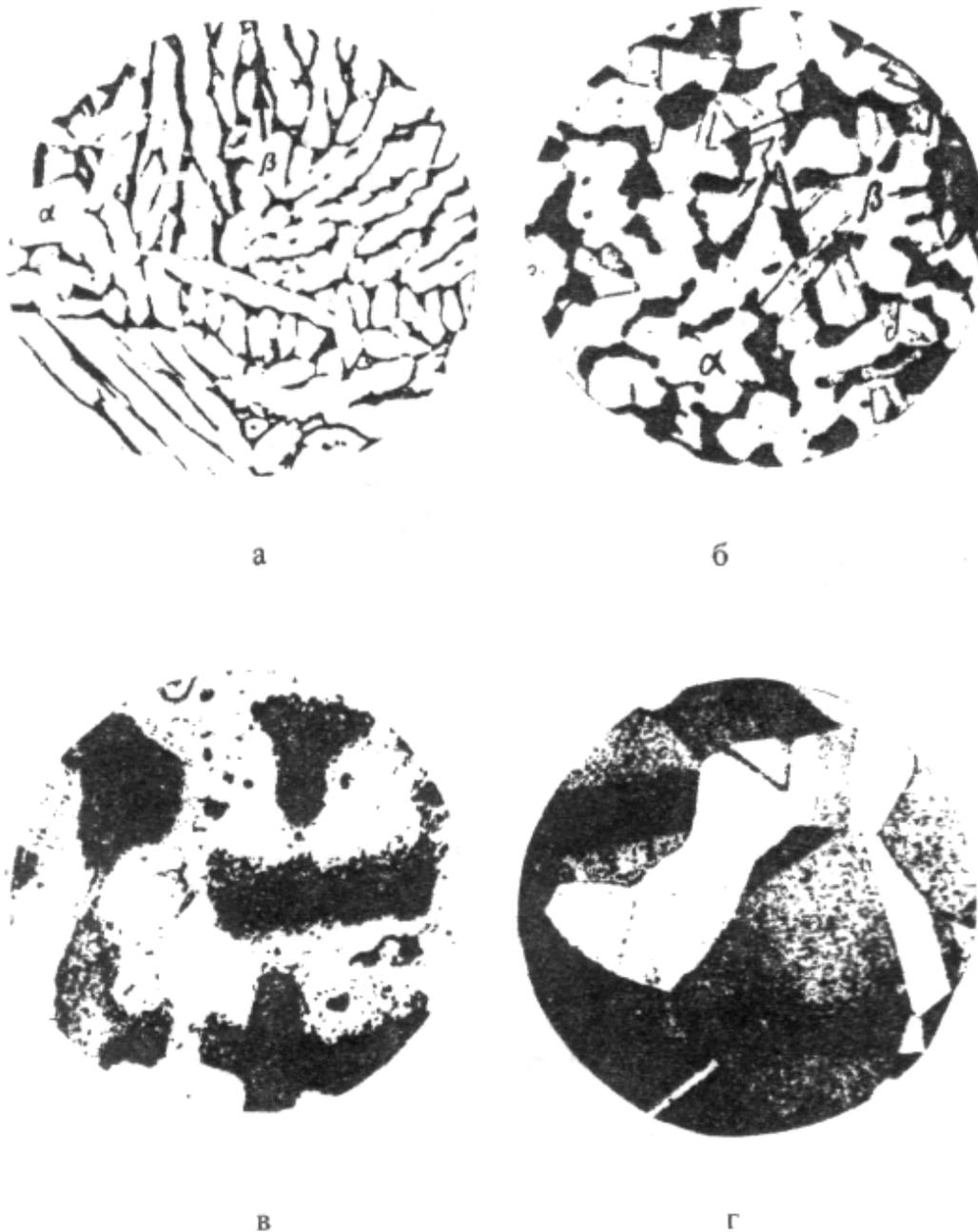


Рис. 3.1. Микроструктуры (x 100):

а – литая латунь Л59 ( $\alpha + \beta$ ); б – латунь ( $\alpha + \beta$ ) после деформирования;

в – литая бронза Бр05;

г – бронза после деформирования и рекристаллизации

Структура немодифицированного литого сплава алюминия с кремнием (рис. 3.2, а) имеет грубое строение и состоит из крупных удлиненных кристаллов кремнистой фазы  $\beta$ , расположенной на фоне  $\alpha$ -фазы, богатой алюминием. Сплав АЛ2 (10–13 % Si) того же состава, модифицированный натрием при его выплавке, характеризуется структурой, состоящей из эвтектической смеси и обособившихся кристаллов твердого  $\alpha$ -раствора (рис. 3.2, б).

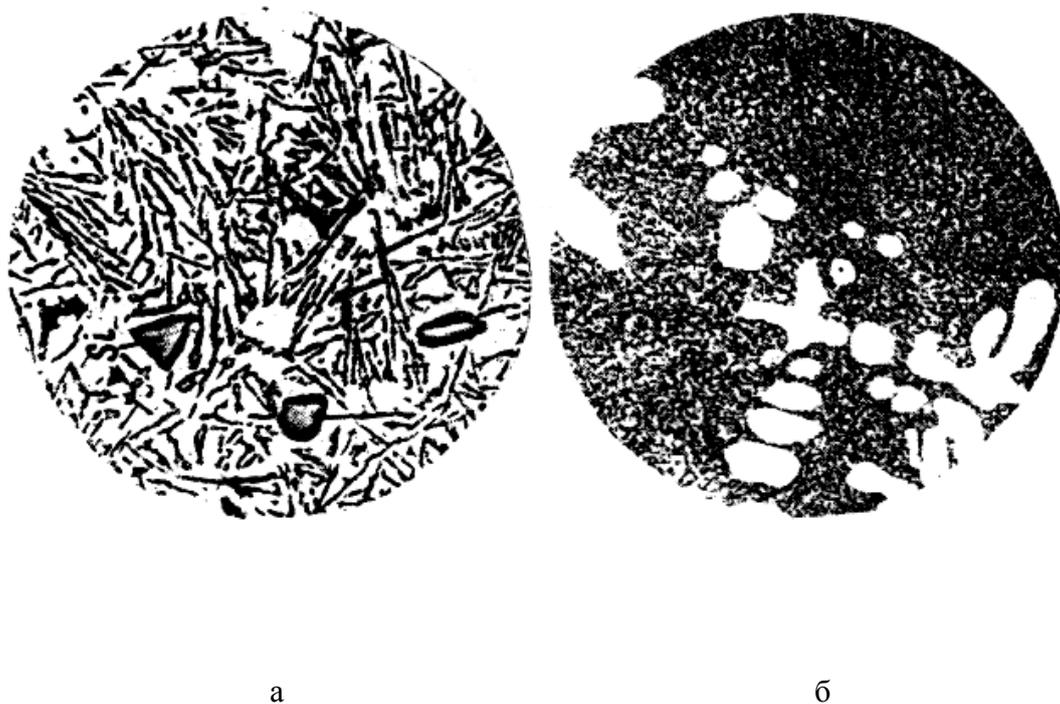


Рис. 3.2. Микроструктура алюминиевого сплава АЛ2, х 250:

а – литой немодифицированный:  $\alpha$  -твердый раствор и  $\beta$  -кремнистая фаза игольчатой формы; б – модифицированный:  $\alpha$ -твердый раствор и эвтектика тонкого строения

Сплав АЛ2 обладает коррозионной стойкостью и хорошими литейными свойствами, применяется для литья (крышки, кожухи, барабаны и др.).

**Антифрикционные сплавы** (баббиты) применяются для заливки вкладышей подшипников. Они должны быть одновременно и твердыми для уменьшения коэффициента трения, и мягкими, давая возможность вкладышу прирабатываться к валу. Для этого им придают структуру, состоящую из мягкой основной массы и твердых кристаллов (рис. 3.3). Подшипниковые сплавы должны иметь, кроме того, не слишком низкую температуру плавления, обладать хорошей теплостойкостью, а также не быть дорогими. Наиболее высокими качествами обладает баббит марки Б83 (83 % Sn, 11 % Sb и 6 % Cu). Структура сплава состоит из темной пластичной основы  $\alpha$ -фазы (твердого раствора сурьмы и меди в олове), светлых твердых частиц крупных кубических кристаллов SnSb и мелких игл или звезд кристаллов  $Cu_6Sn_5$  ( $Cu_3Sn$ ).

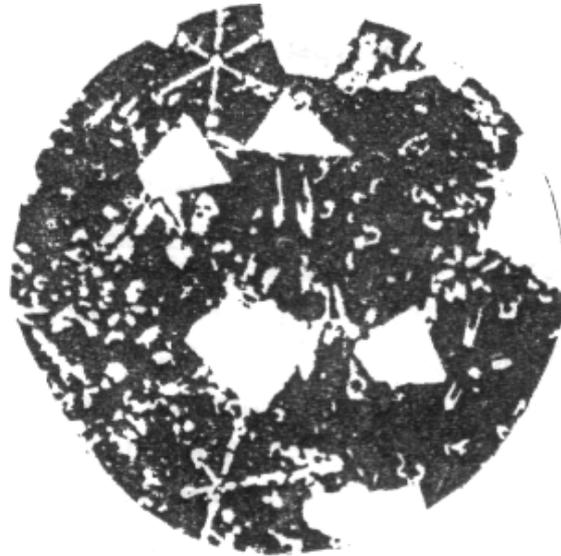


Рис. 3.3. Микроструктура оловянистого баббита Б83:  
( $\alpha$ -твердый раствор темного фона, SnSb в виде крупных кристаллов)

#### **Порядок выполнения работы**

Первое задание студенты выполняют при подготовке к лабораторной работе, при этом необходимо зарисовать соответствующую диаграмму состояния.

При выполнении второго задания построить кривую охлаждения для сплавов и указать все происходящие превращения. На основании этого можно представить схему ожидаемой структуры данного сплава в стабильном состоянии.

Провести анализ структуры коллекции сплавов (в соответствии с третьим заданием) под микроскопом.

Описать структурные составляющие сплавов, указать марки сплавов, их механические свойства и примерное назначение изучаемых сплавов.

#### **Содержание отчета**

1. Название, цель работы и задание.
2. Диаграммы состояния цветных сплавов.
3. Кривые охлаждения заданных сплавов с описанием превращений, происходящих в сплавах при охлаждении.
4. Рисунки микроструктур с описанием структурных составляющих, свойств и применения изучаемых сплавов.
5. Ответ на контрольный вопрос.
6. Список использованной литературы.

#### **Контрольные вопросы**

1. Каковы составы, структура, маркировка и применение латуней?
2. Каковы составы, структура, маркировка и применение бронз?
3. Какая термообработка проводится для бронз?
4. Какие алюминиевые сплавы применяются для изготовления отливок?
5. Как повышают прочность литейных алюминиевых сплавов?
6. Какие алюминиевые сплавы и по каким режимам упрочняются термообработкой?
7. Как классифицируются магниевые сплавы?
8. Каковы структура, свойства, маркировка и применение титановых сплавов?

9. Какие сплавы применяются в качестве антифрикционных материалов?

## Лабораторная работа N 4

### ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Цель работы: изучить влияние термической обработки (отжиг, нормализация, закалка и отпуск) на твердость и структуру углеродистых сталей.

#### Задания

1. Выбрать по диаграмме Fe-Fe<sub>3</sub>C и обосновать температуру нагрева под полную и неполную закалку сталей 45, У12 и нормализацию для стали 45.
2. Провести полную и неполную закалку сталей 45, У12 и нормализацию стали 45.
3. Провести низкий и высокий отпуск закаленных образцов стали 45.
4. Ответить на контрольные вопросы.
5. Составить отчет.

#### Общие положения

Обработка металлов и сплавов, находящихся в твердом состоянии, путем нагрева, выдержки и охлаждения называется термической обработкой (ТО). Цель ТО состоит в получении заданных свойств сплава путем изменения его структуры без изменения формы и состава.

Операциями термической обработки являются отжиг, нормализация, закалка и отпуск. Отжиг и нормализация – это чаще всего предварительная ТО, заключается в подготовке структуры к последующим операциям механической обработки, либо окончательной ТО.

Закалка с последующим отпуском являются наиболее распространенным видом окончательной ТО для углеродистых сталей.

При закалке сталь нагревают до аустенитного или аустенитно-карбидного состояния, выдерживают в течение времени, необходимого для завершения фазовых превращений, и охлаждают со скоростью выше критической для получения мартенситной структуры.

В зависимости от температуры нагрева различают полную и неполную закалку. При полной закалке сталь нагревают до температур однофазной аустенитной области (рис. 4.1) на 30 – 50 °С выше линии А3 и Ас1. Полная закалка применяется только для доэвтектоидных сталей. Микроструктура после полной закалки этих сталей будет состоять из мелкоигольчатого мартенсита и небольшого количества остаточного аустенита.

Микроструктура заэвтектоидных сталей после полной закалки состоит из крупноигольчатого мартенсита и повышенного количества остаточного аустенита. Это объясняется тем, что нагрев этих сталей до температур, на 30 – 50 °С превышающих линию Ас1, приводит к сильному росту зерна аустенита и увеличению содержания углерода в аустените (за счет растворенного цементита). Большое зерно аустенита приводит к получению крупноигольчатого мартенсита, а повышенное содержание углерода в аустените – к получению большого процента остаточного аустенита вследствие снижения температуры точек Мн и Мк.

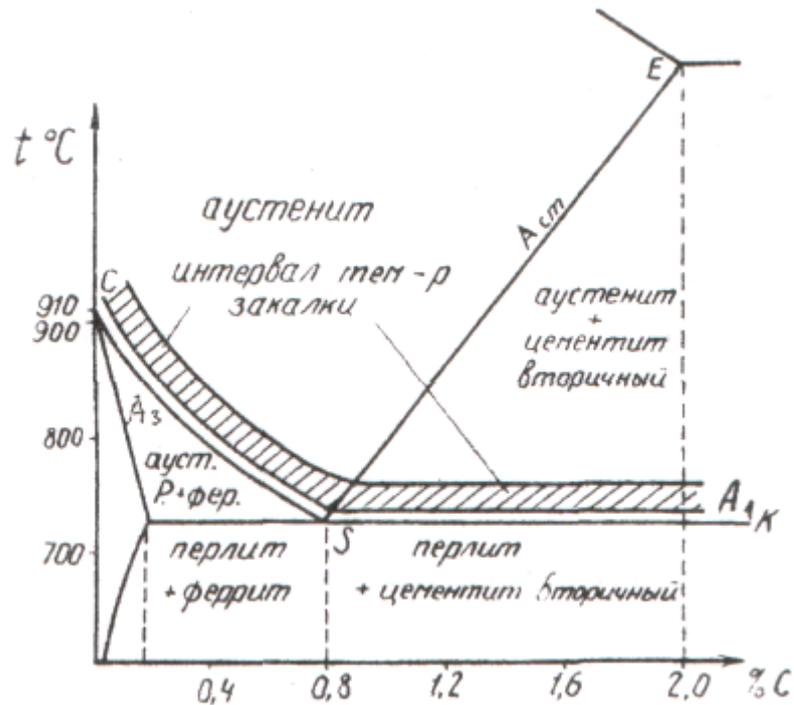


Рис. 4.1. Участки диаграммы Fe-Fe<sub>3</sub>C  
(нанесены температуры закалки и отпуска)

Наличие большого количества остаточного аустенита ведет к снижению твердости, крупное зерно – к снижению ударной вязкости, а отсутствие включений цементита – к снижению износостойкости. Поэтому заэвтектоидные стали подвергают неполной закалке.

При неполной закалке заэвтектоидную сталь нагревают до температур между линиями A<sub>cm</sub> и A<sub>1</sub>, т. е. до двухфазного состояния аустенит плюс цементит.

При последующем охлаждении аустенит превратится в мартенсит.

Цементит должен быть в виде мелких равномерно распределенных по объему зернышек. Это обеспечивается предварительной термической обработкой – отжигом на зернистый перлит. Если же перед закалкой микроструктура стали состояла из пластинчатого перлита и замкнутой сетки цементита, то после неполной закалки сетка цементита сохраняется.

Сталь, имеющая в своей структуре мартенсит, остаточный аустенит и замкнутую сетку цементита, будет хрупкой. Итак, для заэвтектоидных сталей следует рекомендовать неполную закалку как обеспечивающую более высокие эксплуатационные свойства и экономически более выгодную.

Доэвтектоидные стали при неполной закалке нагревают до температур, лежащих между линиями A<sub>3</sub> и A<sub>1</sub>, т. е. до структуры аустенит плюс феррит. При последующем быстром охлаждении аустенит перейдет в мартенсит, а феррит останется без изменения. Микроструктура доэвтектоидной стали после неполной закалки представляет собой мелкоигльчатый мартенсит, феррит и остаточный аустенит. Сталь, имеющая такую структуру, будет мягкой и недостаточно прочной.

Закалка стали сопровождается увеличением объема, что вызывает появление значительных внутренних напряжений, которые могут вызывать коробление изделий и появление трещин. Поэтому закаленные изделия всегда подвергают отпуску. Отпуск – важнейшая операция термической обработки, формирующая структуру и свойства стали.

При отпуске сталь нагревают ниже линии  $A_1$ , выдерживают при этой температуре и охлаждают (обычно на воздухе или в масле). В зависимости от температуры различают низкий, средний и высокий отпуск (рис. 4.1). Низкий отпуск ( $120 - 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) применяют для инструментов, цементованных, цианированных изделий, которым необходимы высокая твердость ( $60 - 65\text{ HRC}$ ) и износостойкость. После такого отпуска у закаленной на мартенсит стали сохраняется игольчатая структура мартенсита, но иглы становятся менее резкими, несколько расплывчатыми; такой мартенсит называется отпущенным мартенситом. Характерным является то, что если в мартенсите после закалки иглы светлые, то в отпущенном мартенсите они темные. Изменение цвета игл мартенсита связано с изменениями, происходящими в нем при нагревании до указанных температур. При нагревании мартенсита из него выделяется углерод в виде карбидных частиц, но когерентно связанных с исходной фазой. Это приводит к уменьшению степени тетрагональности решетки железа.

Средний отпуск ( $350 - 450\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) на отпущенный троостит применяют для стальных пружин, рессор и упругих элементов приборов, которые в работе должны сочетать свойства высокой упругости, прочности и достаточной вязкости. Структура отпущенного троостита является продуктом распада закаленного мартенсита и представляет собой высокодисперсную смесь частиц феррита и цементита. Под микроскопом троостит отпуска выглядит темной массой, в которой слабо различается игольчатое строение цементита.

Высокий отпуск ( $500 - 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) на сорбит отпуска широко применяется к изделиям из машиностроительных сталей, содержащих от  $0,35$  до  $0,6\%$  углерода. Сорбит отпуска, подобно отпущенному трооститу, представляет собой ферритно-цементитную смесь, но грубого строения.

Двойная операция (закалка с высоким отпуском) называется улучшением, так как после такой термической обработки сталь приобретает наиболее благоприятное сочетание механических свойств – высокую вязкость и пластичность.

### **Порядок выполнения работы**

1-я часть

Первое задание выполняется всей группой вместе с преподавателем. Для выполнения 2, 3 и 4 пунктов задания группа студентов разбивается на 4 бригады.

Первая бригада замеряет твердость образцов стали 45 и У12 в исходном состоянии на приборе Роквелла (шкала HRB). Определяет сечение образцов и выбирает время выдержки при нагреве под закалку и нормализацию из расчета 1 мин на 1 мм диаметра и толщины (для углеродистых сталей). Вторая бригада проводит нормализацию стали 45 и полную закалку сталей 45 и У12. Образцы поместить в лабораторную печь, предварительно нагретую до заданной температуры, выдержать и охладить в воде или на воздухе. Замерить твердость образцов после закалки (шкала HRC), после нормализацию (шкала HRC).

Третья бригада выполняет неполную закалку сталей 45 и У12 по аналогии с пунктом 2. Результаты измерений занести в табл. 4.1. Проанали-

зировав полученные данные, записать в таблицу предполагаемые микроструктуры.

Четвертая бригада получает предварительно закаленные образцы из стали У12, 45 для проведения отпуска. Замерить твердость в исходном состоянии (шкала HRC). Поместить в лабораторные печи, предварительно нагретые до температур 200, 600 оС, соответствующих низкому и высокому отпуску, выдержать 20 минут и охладить на воздухе. Замерить твердость (шкала HRC). Полученные данные занести в табл. 4.2.

Построить график зависимости твердости от температуры отпуска и указать предполагаемые микроструктуры.

Таблица 4.1

Марка стали	Микроструктура в исходном состоянии	Твердость в исходном состоянии	Вид операции	Температура нагрева, оС	Врем, мин	Охлаждающая среда	Твердость после ТО, HRC	Микроструктура после ТО
45								
45								
У12								
У12								
45								

Таблица 4.2

Марка стали	Твердость в исходном состоянии, HRC	Температура нагрева, оС	Время выдержки, мин	Охлаждающая среда	Твердость после отпуска, HRC	Вид отпуска	Микроструктура
45							
У12							

### Содержание отчета

1. Название, цель работы и задание.
2. Заполненная таблица 4.1.
3. Заполненная таблица 4.2.
4. График зависимости твердости стали У12 от температуры отпуска.
5. Выводы.

#### 2-я часть

Микроструктуру углеродистых сталей после различной термической обработки изучают на специально приготовленной коллекции микрошлифов, которая включает микрошлифы сталей 45 и У12 после полной и неполной закалки с низким и высоким отпуском.

#### Порядок выполнения работы

Группа студентов разбивается на 4-5 бригад.

Каждая бригада работает с микроскопом МИМ-7, изучает и зарисовывает в квадрате 40x40 мм в виде схемы микроструктуры комплекта микрошлифов в количестве семи штук. Под каждым рисунком указываются увеличение микроскопа, марка стали и обозначаются стрелками структурные составляющие. Сравнение изучаемых структур и зарисовка их схем ведется с использованием альбома фотографий микроструктур.

Описать микроструктуры с обязательным указанием условий ее получения и механических свойств (НВ,  $\sigma_B$ ).

#### **Содержание отчета**

1. Название, цель работы и задание.
2. Участок диаграммы состояния Fe-Fe<sub>3</sub>C с нанесенными температурами закалки и отпуска.
3. Рисунки микроструктур и их описание.
4. Ответ на контрольный вопрос.
5. Список использованной литературы.

#### **Контрольные вопросы**

1. Как и из каких соображений выбирают температуру под закалку сталей?
  2. Что происходит при закалке стали?
  3. Как неполная закалка влияет на структуру и свойства стали?
  4. Какие дефекты могут возникнуть при закалке стали?
- 53
5. Как и из каких соображений выбирают температуру отжига стали?
  6. Какие бывают виды отжига и каково их назначение?
  7. Как и для чего производится нормализация?
  8. Что происходит при отпуске стали?
  9. Каково назначение низкого, среднего и высокого отпуска?
  10. Как осуществить термообработку для получения заданной структуры стали (зернистый перлит, мартенсит, бейнит, троостит, сорбит)?

#### Основная литература

1. Материаловедение и технология материалов: Учебное пособие / К.А. Батышев, В.И. Беспалько; Под ред. А.И. Батышева, А.А. Смолькина. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2013 - 288 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат). ISBN 978-5-16-004821-5 <http://znanium.com/bookread2.php?book=397679>

2. Материаловедение и технология материалов: Учебник / Г.П. Фетисов, Ф.А. Гарифуллин. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 397 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат). ISBN 978-5-16-006899-2, <http://znanium.com/bookread2.php?book=413166>

3. Материаловедение [Электронный ресурс]: учебное иллюстрированное пособие / Е.Г. Зарембо. - М.: УМЦ ЖДТ, 2009. - [http://www.studentlibrary.ru / book / ISBN9755999400475.html](http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9755999400475.html)

#### Дополнительная литература

1. Картонова Л. В. Основы материаловедения металлических и неметаллических веществ/ Л. В. Картонова, В. А. Кечин. – Владимир: Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых (ВлГУ), 2014. – 176 с.

Издание на др. носителе: Основы материаловедения металлических и неметаллических веществ [Электронный ресурс], ISBN 978-5-9984-0503-7.

2. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов.-М.: Metallurgy, НИЦ ИНФРА-М, 2013 - 480 с: ил. 60x90 1/16 ISBN 978-5-16-006899-2  
<http://znanium.com/bookread2.php?book=539831>