



Федеральное агентство по рыболовству  
БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»  
**Калининградский морской рыбопромышленный колледж**

Утверждаю  
Заместитель начальника колледжа  
по учебно-методической работе  
А. И. Колесниченко

**ОП.04 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

Методические указания по выполнению практических занятий по специальности

**15.02.06 Монтаж, техническая эксплуатация и ремонт холодильно-компрессорных  
и теплонасосных машин и установок (по отраслям)**

**МО–15 02 06-ОП.04.ПЗ**

РАЗРАБОТЧИК	Ласточкина М.И.
ЗАВЕДУЮЩИЙ ОТДЕЛЕНИЕМ	Никишин М.Ю.
ГОД РАЗРАБОТКИ	2024
ГОД ОБНОВЛЕНИЯ	2025

МО-15 02 06-ОП.04.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.2/51

## Содержание

Введение .....	3
Перечень практических занятий.....	10
РАЗДЕЛ 1 ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛОВ Тема 1.1	
Строение и свойства металлов.....	11
Практическое занятие №1 Изучение методов определения твердости металлов по Бриннелю, по Роквеллу .....	11
Практическое занятие №2 Изучение метода испытания металлов на ударную вязкость .....	15
Практическое занятие №3 Построение диаграммы железо-цементит. ....	17
Изучение диаграммы состояния железо-углерод (Fe-C) .....	17
Тема 1.3 Диаграммы состояния металлов и сплавов .....	23
Практическое занятие №4 Микроскопический анализ структуры чугунов .....	23
Практическое занятие №5 Микроскопический анализ структуры углеродистых сталей .....	26
Тема 1.5 Термическая обработка металлов и сплавов .....	30
Практическое занятие №6 Закалка и отпуск углеродистой стали .....	35
Практическое занятие №7 Выбор режима термической обработки стали .....	36
Тема 1.6 Химико-термическая обработка: виды, область применения .....	41
Практическое занятие №8 Анализ структуры термически и химически обработанных сталей .....	41
Практическое занятие №9 Выбор марки сплавов цветных металлов для конкретных деталей, в зависимости от условий их эксплуатации .....	44
Используемые источники литературы .....	52

МО-15 02 06-ОП.04.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.3/51

## **Введение**

Методические указания предназначены для преподавателей и направлены на обеспечение высокого уровня организации и проведения практических занятий.

Данные методические указания являются инструктивным документом преподавателя при организации практических занятий, в том числе с применением обязательного документа УМК «Методические указания по выполнению практических заданий (для обучающихся)».

Методические указания по проведению практических занятий для преподавателя составлены в соответствии со следующими нормативными документами:

- Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам среднего профессионального образования (с доп. и изм.), утвержденный приказом Министерства образования и науки РФ 14.06.2013 г. № 464;
- Федеральные государственные образовательные стандарты среднего профессионального образования по специальности;
- Учебный план по специальности, в котором определены последовательность изучения дисциплин, а также распределение учебного времени и форм контроля по семестрам;
- рабочая программа учебной дисциплины (профессионального модуля).

Рабочей программой учебной дисциплины предусмотрено проведение практических занятий.

Преподаватель перед проведением практических занятий обязан ознакомиться с данными методическими указаниями.

Целью проведения практических занятий является организация управляемой познавательной деятельности обучающихся в условиях, приближенных к реальным практическим условиям.

Задачи преподавателя при организации практических занятий, способствующие достижению дидактической цели:

- закрепление и расширение знаний обучающихся при решении конкретных практических задач;
- формирование у обучающихся потребности в поиске информации, необходимой для эффективного решения профессиональных задач;
- развитие познавательных способностей, самостоятельности мышления, творческой активности обучающихся;

МО-15 02 06-ОП.04.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.4/51

- выработка способности логического осмысления самостоятельно полученных данных;

- обеспечение рационального сочетания коллективной и индивидуальной форм обучения.

Обязанности преподаватели при проведении практического занятия:

- перед проведением практических занятий преподаватель обязан ознакомить обучающихся с техникой безопасности и осветить предполагаемые риски;

- преподаватель обязан ознакомить обучающихся с тренажером и его оборудованием до начала практических занятий и оценить знания;

- преподаватель обязан провести достаточный инструктаж и обозначить внешнюю и внутреннюю мотивацию для достижения целей подготовки в соответствии с уровнем компетентности обучающихся на занятии;

- преподаватель обязан обеспечить в ходе занятия эффективное наблюдение за деятельностью обучающихся, сопровождение речевым контактом, а также индивидуальную оценку их компетенций;

- преподаватель обязан изучить требования к результатам освоения дисциплины («уметь», «знать»).

Проведение практических занятий должно способствовать формированию у обучающихся общих и профессиональных компетенций:

*Общие компетенции:*

ОК 01. Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам.

ОК 02. Использовать современные средства поиска, анализа и интерпретации информации, и информационные технологии для выполнения задач профессиональной деятельности.

ОК 03. Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие, предпринимательскую деятельность в профессиональной сфере, использовать знания по финансовой грамотности в различных жизненных ситуациях.

ОК 04. Эффективно взаимодействовать и работать в.

ОК 05. Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке Российской Федерации с учетом особенностей социального и культур.

ОК 06. Проявлять гражданско-патриотическую позицию, демонстрировать осознанное поведение на основе традиционных общечеловеческих ценностей, в том числе с учетом гармонизации межнациональных и межрелигиозных отношений, применять стандарты антикоррупционного поведения.

МО-15 02 06-ОП.04.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.5/51

ОК 07. Содействовать сохранению окружающей среды, ресурсосбережению, применять знания об изменении климата, принципы бережливого производства, эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях.

ОК 09. Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языках.

*Профессиональные компетенции:*

ПК 1.1. Организовывать и осуществлять техническую эксплуатацию и обслуживание холодильного оборудования.

ПК 1.2. Проводить диагностику, обнаруживать неисправную работу холодильного оборудования, принимать меры для устранения и предупреждения отказов и аварий.

ПК 1.3. Выполнять контроль, анализ и оптимизацию режимов работы холодильного оборудования.

ПК 4.1. Организовывать и осуществлять техническую эксплуатацию холодно-вентиляционной техники и систем кондиционирования воздуха.

ПК 4.2. Проводить диагностику, обнаруживать неисправную работу холодно-вентиляционной техники и систем кондиционирования воздуха, принимать меры для устранения и предупреждения отказов и аварий.

ПК 4.3. Выполнять контроль, анализ и оптимизацию режимов работы холодно-вентиляционной техники и систем кондиционирования воздуха

В результате выполнения практических занятий у обучающихся формируются следующие личностные результаты:

<i>Код</i>	<i>Наименование личностных результатов</i>
<i>ЛР 13</i>	Готовый соответствовать ожиданиям работодателей: активный, проектно-мыслящий, эффективно взаимодействующий и сотрудничающий с коллективом, осознанно выполняющий профессиональные требования, ответственный, пунктуальный, дисциплинированный, трудолюбивый, критически мыслящий, демонстрирующий профессиональную жизнестойкость.
<i>ЛР 18</i>	Принимающий цели и задачи научно-технологического, экономического, информационного и социокультурного развития России, готовый работать на их достижение.
<i>ЛР 19</i>	Управляющий собственным профессиональным развитием, рефлексивно оценивающий собственный жизненный опыт, критерии личной успешности, признающий ценность непрерывного образования
<i>ЛР 22</i>	Обеспечивать безопасные условия труда в профессиональной деятельности
<i>ЛР 32</i>	Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

МО-15 02 06-ОП.04.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.6/51

## **Структура проведения практического занятия**

### **1. Вводная часть:**

- организационный момент;
- мотивация учебной деятельности;
- сообщение темы, постановка целей;
- актуализация знаний.

### **2. Основная часть:**

- инструктаж по технике безопасности (при необходимости);
- выдача задания;
- определение алгоритма проведения эксперимента или другой практической деятельности;
- допуск к выполнению работы;
- осуществления эксперимента или другой практической деятельности;
- ознакомление со способами фиксации полученных результатов.

#### *Самостоятельное выполнение практического задания обучающимися:*

- определение путей решения поставленной задачи;
- выработка последовательности выполнения необходимых действий;
- проведение эксперимента (выполнение заданий, задач, упражнений);
- составление отчета;
- обобщение и систематизация полученных результатов (таблицы, графики, схемы и т.п.).

### **3. Заключительная часть:**

- подведение итогов занятия: анализ хода выполнения и результатов работы обучающихся;
- выявление возможных ошибок и определение причин их возникновения;
- защита выполненной работы.

#### *В ходе практического занятия, преподавателем непрерывно должно осуществляться педагогическое руководство обучающимися:*

- четкая постановка познавательной задачи;
- инструктаж к работе (осмысление обучающимися сущности задания, последовательности его выполнения);
- проверка теоретической и практической готовности обучающихся к занятию;
- выделение возможных затруднений в процессе работы;
- установка на самоконтроль;

МО-15 02 06-ОП.04.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.7/51

- наблюдение за действиями обучающихся, регулирование темпа работы, помощь (при необходимости), коррекция действий, проверка промежуточных результатов.

Формулировка задания должна быть однозначно понятна обучающемуся.

При организации проведения практических занятий необходимо *использовать активные и интерактивные формы*:

*Активные формы*:

*творческие задания* – это задания, которые требуют от обучающихся не простого воспроизводства информации, а творчества, поскольку задания содержат большой или меньший элемент неизвестности и имеют, как правило, несколько подходов;

*работа в малых группах* – способ организации образовательного процесса, позволяющий всем обучающимся участвовать в работе, практиковать навыки сотрудничества, межличностного общения (в частности, умение активно слушать, вырабатывать общее мнение, разрешать возникающие разногласия).

*дискуссия* – действенный метод обсуждения изучаемого вопроса. Дискуссия предполагает коллективное обсуждение какой-либо спорной проблемы, во время которого познается истина.

*Интерактивные формы* предполагают взаимодействие между преподавателем и обучающимся в соответствии с индивидуализированным подходом (тренинги, кейс-стади, «дерево решений», «анализ казусов» и др.).

*Тренинги* – это процесс получения навыков и умений в какой-либо области посредством выполнения последовательных заданий, действий или игр, направленных на достижение наработки и развития требуемого навыка;

*Кейс-стади* – техника обучения, использующая описание реальных ситуаций.

В ходе реализации практических работ преподаватель должен использовать наряду с традиционными инновационные технологии и методы обучения (технология развития критического мышления, «мозговой штурм», метод проектов, технология проблемного обучения, технология опережающего обучения, технология программированного обучения и др.).

Уровень освоения учебного материала по результатам практических работ соответствует «2» или «3», в зависимости от содержания работы.

*2 уровень репродуктивный* – регулятивная или процессуальная деятельность, связанная с выполнением заданий на процесс или решение задач;

МО-15 02 06-ОП.04.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.8/51

3 уровень *продуктивный* – аналитическая или творческая деятельность, связанная с выполнением задания повышенного уровня, например, творческая практическая работа над проектом.



МО-15 02 06-ОП.04.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.9/51

### Перечень практических занятий

№ п/п	Практическое занятие	Кол-во часов
<b>РАЗДЕЛ 1 ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛОВ</b>		
<b>Тема 1.1 Строение и свойства металлов</b>		
1	Изучение методов определения твердости металлов по Бринеллю и Роквеллу	2
2	Изучение метода испытания металлов на ударную вязкость	2
<b>Тема 1.3 Диаграммы состояния металлов и сплавов</b>		
3	Построение диаграммы железо-цементит	2
4	Изучение микроскопической структуры чугунов	2
5	Изучение микроскопической структуры углеродистых сталей	2
<b>Тема 1.5 Термическая обработка металлов и сплавов</b>		
6	Выбор режима термической обработки	2
7	Изучение процессов закалки и отпуска углеродистой стали	2
<b>Тема 1.6 Химико-термическая обработка: виды, область применения</b>		
8	Анализ структуры термически и химически обработанных сталей	2
<b>Тема 2.3 Износостойкие материалы</b>		
9	Выбор марки сплавов цветных металлов для конкретных деталей	2
ИТОГО		18

МО-15 02 06-ОП.04.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.10/51

## РАЗДЕЛ 1 ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛОВ

### Тема 1.1 Строение и свойства металлов

#### Практическое занятие №1 Изучение методов определения твердости металлов по Бринеллю, по Роквеллу

*Цель занятия:*

Изучить теоретические основы методов определения твердости металлов по методу Бринелля и Роквелла.

*Формируемые общие и профессиональные компетенции:* ОК01, ОК02, ОК03, ОК04, ОК05, ОК06, ОК07, ОК09, ПК1.1, ПК 1.2, ПК 1.3, ПК 4.1, ПК 4.2, ПК 4.3.

*Формируемые личностные результаты:* ЛР 13, ЛР 18, ЛР 19, ЛР 22, ЛР 32.

*Методические указания*

**Твердость** – способность Ме сопротивляться вдавливанию в его поверхность другого более твердого материала.

Твердость имеет большое практическое значение т.к. она выражает многие рабочие свойства материала: сопротивление к истиранию, способность к механической обработке, выдерживать давление.

Большинство методов определения твердости основано на принципе вдавливания, но существуют методы, основанные на царапании, качании маятника.

При испытании на твердость поверхность материала не должна иметь риск, вмятин и царапин.

К методам, основанным на вдавливании, относятся:

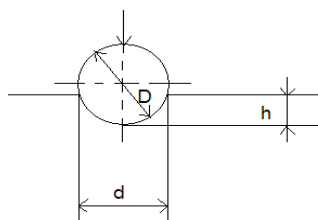
- метод Бринелля
- метод Роквелла
- метод Виккерса

а) Определение твёрдости металла по способу Бринелля на твёрдомере типа «ТШ-2».

В зависимости от испытываемого материала и его толщины на приборе закрепляется наконечник с диаметром шарика 10,5 или 2,5 мм и устанавливаются грузы: 3000, 1000, 750 кг.

Подготовленная деталь устанавливается на стол пресса и подводится шарик, вращением штурвала стола до отказа, создавая предварительную нагрузку в 100 кг. Включается кнопка, грузы движутся вниз – шарик вдавливается в деталь.

Выдержка сопровождается горением лампочки 10 – 40 сек. После выключения лампочки грузы поднимаются вверх и пресс автоматически выключается. Испытания проводятся 3 раза.



С помощью лупы определяется диаметр лунок и по формуле и по таблице определяется твёрдость по Бринеллю.

$P$  - нагрузка на шарик, кг;

$F$  - величина поверхности отпечатка, мм<sup>2</sup>;

$D$  - диаметр шарика;

$d$  - диаметр лунки.

$$HB = \frac{P}{F} \text{ Н / мм}^2$$

Пользуясь таблицей, определяют твёрдость в зависимости от  $d$  лунки и нагрузки  $P$ . Диаметр лунки принимаем 5 мм, нагрузку 1000 Н

Таблица 1

Толщина металла и марка	Диаметр шарика мм	Нагрузка в кг	1 измерение		2 измерение		3 измерение		Среднее значение твердости	Предел прочности при растяжении	
			Диаметр отпечатка	Твёрдость по Бринеллю	Диаметр отпечатка	Твёрдость по Бринеллю	Диаметр отпечатка	Твёрдость по Бринеллю			
	$D$	$P$	$d_1$	$HB_1$	$d_2$	$HB_2$	$d_3$	$HB_3$	$HB$	$G_B$	материал
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2 мм	2,5 мм	1000									Д16

$$\sigma_B = KHB$$

Предел прочности  $\sigma_B$  определяем по существующей зависимости от твердости металла «НВ».

Для катанной и кованной стали: 0,3-0,4

Для литой стали: 0,36

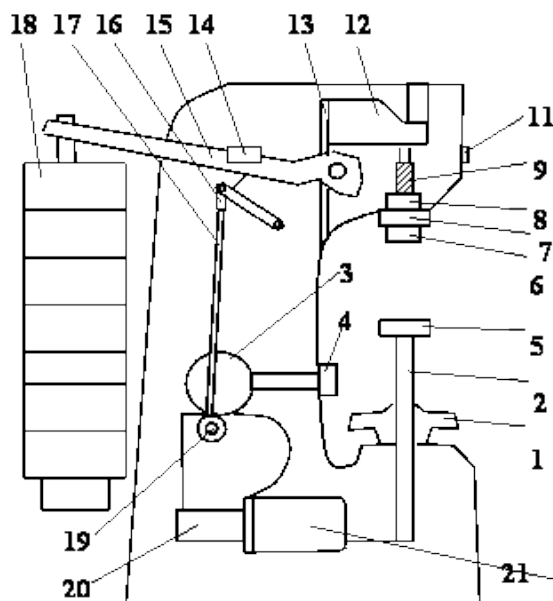
Для серого чугуна: 0,1

Для меди: 0,35-0,48

Для алюминия: 0,4.

## УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ ПРИБОРА БРИНЕЛЛЯ

На рис. 1 приведена принципиальная схема твердомера ТБ 5004.



**Рис.1.** Схема прибора для определения твердости по Бринеллю

Основными частями прибора являются:

1. Шпиндель 6, в который вставляются сменные инденторы с шариками разного диаметра.
2. Подвеска 18 с набором грузов.
3. Маховик 1, перемещающий опорный столик 5 с образцом в вертикальном направлении.
4. Система рычагов 12, 15, 17-19, передающих нагрузку на испытуемый образец.
5. Электродвигатель 21, обеспечивающий работу прибора.
6. Пульт управления с переключателями режима работы, сигнальными лампами “контроль”, “выдержка”, “сеть”, реле времени.
7. Кнопки “пуск” и “стоп”.

б) Определение твердости металла по способу Роквелла и твердомере типа ТК-2.

В Прибор устанавливается алмазный конус с углом  $120^{\circ}$  и грузы 150 кг.

Деталь устанавливается на стол прибора С помощью штурвала подводят деталь к алмазному конусу с углом  $120^{\circ}$  и вращают штурвал до тех пор, пока стрелки индикатора не станут параллельно друг другу. При этом маленькая стрелка станет против красной точки на шкале прибора.

Большую стрелку можно не доводить до 5-ти делений, устанавливая нуль шкалы «С» поворотом индикаторной головки.

Стрелка прибора вращается и по шкале прибора «С» (черная) читаем показания прибора.

При испытании стальным шариком показания читают по шкале «В» (красная).

Измерения производят три раза, затем определяют среднее значение твердости.

HRC – алмазным конусом угла  $120^{\circ}$

HRB – стальным закалённым шариком = 1,58 мм.

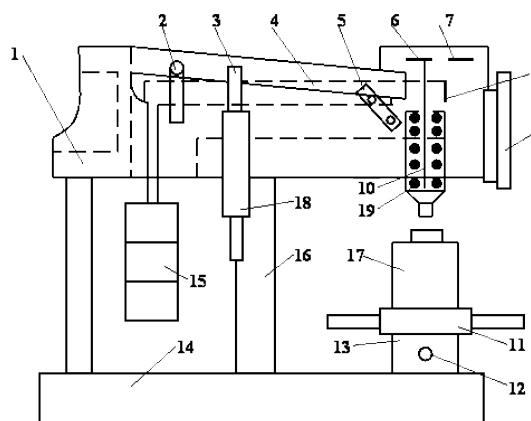
По среднему показателю твердости HRC, пользуясь переводной таблицей, определяют твердость по Бринеллю HB.

### УСТРОЙСТВО ПРИБОРА РОКВЕЛЛА

На рис.2 приведена принципиальная схема твердомера Роквелла.

Основными его частями являются:

поперечина 1, подвеска 2, шток амортизатора 3, рычаг 4, рукоятка 5, винт 6, крышка 7, рычажок 8, призма 9, шпindel 10 с закрепленным на его конце индентором, маховик 11 для перемещения образца, шпонка 12, направляющая втулка 13, станина 14, грузы 15, стойка 16, подъемный винт 17, масляный амортизатор 18, пружина 19, индикатор с двумя шкалами – черной (С) и красной (В). При этом с большой стрелкой индикатора всегда совмещается нуль черной шкалы, и ни в коем случае – красной. Барабан для точной установки шкалы индикатора на нуль, электромотор, обеспечивающий работу прибора.



**Рис.2.** Прибор для измерения твердости по Роквеллу

Используемые источники: [1]; [2]; [3].

МО-15 02 06-ОП.04.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.14/51

### *Содержание и порядок выполнения работы:*

1. Изучить и зарисовать схемы приборов Бринелля и Роквелла для определения твердости металлов.
2. Изучить теоретический материал по теме занятия.
3. Законспектировать методы определения твердости и область их применения.
4. Заполнить таблицу 1
5. Оформить отчет

### *Выводы и предложения:*

В результате проделанной работы курсанты должны проанализировать достоинства и недостатки метода Бринелля и метода Роквелла. При этом обратить внимание на то, как отличается твердость черных металлов и сплавов (сталь и чугун) от цветных (медь, латунь, бронза, дуралюмин и т.д.). Кроме того, необходимо обратить внимание на отличие в твердости чистых металлов и их сплавов.

### *Содержание отчета:*

Наименование практического занятия

Цель занятия

Отчет о выполнении всех пунктов из раздела «Содержание и порядок выполнения работы»

Список использованных источников

Выводы и предложения

Дата и подписи студента и преподавателя

### *Вопросы для самопроверки:*

1. Что такое твердость металлов (определение)?
2. В каких единицах измеряется твердость по Бринеллю?
3. В каких единицах измеряется твердость по Роквеллу?
4. Зачем необходимо знать твердость металлов?
5. Какой метод измерения твердости металлов вы считаете более удобным (обоснуйте)
6. Какие приборы существуют для измерения твердости металлов?
7. Тверже или мягче должен быть стальной шарик для проверки твердости, чем исследуемый металл?
8. Какой металл будет тверже сталь или чугун и почему?

9. Запишите формулу для определения твердости по Бринеллю.

10. Как подбирают стальные шарики при испытании по Бринеллю?

11. Как изготавливают образцы для испытаний на твердость?

## Практическое занятие №2 Изучение метода испытания металлов на ударную вязкость

*Цель работы:*

Изучить методы определения ударной вязкости металлов

*Формируемые общие и профессиональные компетенции:* ОК01, ОК02, ОК03, ОК04, ОК05, ОК06, ОК07, ОК09, ПК1.1, ПК 1.2, ПК 1.3, ПК 4.1, ПК 4.2, ПК 4.3.

*Формируемые личностные результаты:* ЛР 13, ЛР 18, ЛР 19, ЛР 22, ЛР 32.

*Методические рекомендации:*

Ударная вязкость – способность материалов оказывать сопротивление действию ударных нагрузок.

$$KC = \frac{K}{S},$$

где

КС – ударная вязкость;

К – затраченная работа;

S – площадь поперечного сечения образца в месте надреза.

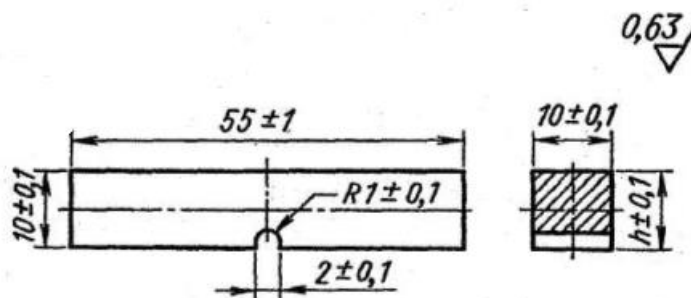


Рисунок 1 – Образец для испытания на ударную вязкость

*Примечание:*

От качества выполнения надреза зависит точность испытания, поэтому надрез образцов выполняют особенно тщательно (сверлением, фрезерованием или проточкой, шлифовальным кругом). Надрез наносится на образец так, чтобы его ось была перпендикулярно оси образца.

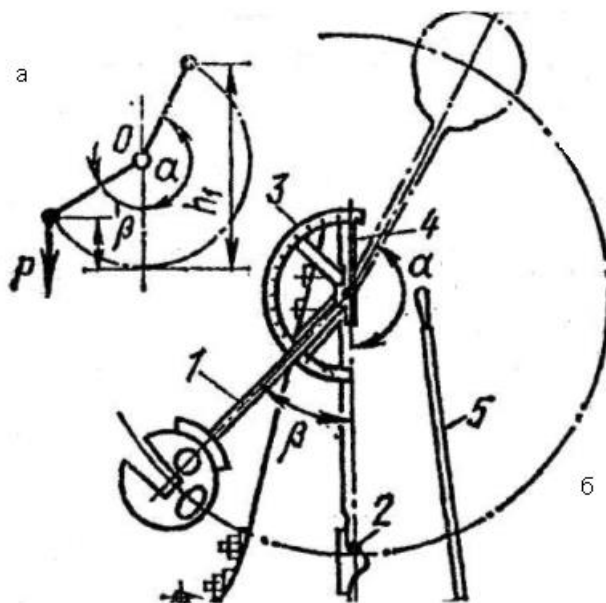


Рисунок – 2

В начале испытания маятник поднимают на угол  $\alpha$  в верхнее исходное положение (рисунок 2а) на высоту  $H$  (рисунок 2б), затем маятник спускают и он, падая, разрушает помещенный на его пути образец и по инерции отклоняется на угол  $\beta$ . Зная углы  $\alpha$  и  $\beta$  по соответствующим таблицам определяют  $K$  и  $KC$ .

*Используемые источники:* [1]; [2]; [3].

*Содержание и порядок выполнения работы:*

1. Изучить и зарисовать схему маятникового копра для определения ударной вязкости металлов.
2. Изучить теоретический материал по теме занятия.
3. Начертить диаграмму растяжения для стали и указать все характерные точки диаграммы.
4. Законспектировать метод определения ударной вязкости металлов.
5. Оформить отчет

*Выводы и предложения:*

В результате проделанной работы курсанты должны проанализировать достоинства и недостатки метода Бринелля и метода Роквелла. При этом обратить внимание на то, как отличается твердость черных металлов и сплавов (сталь и чугун) от цветных (медь, латунь, бронза, дуралюмин и т.д.). Кроме того, необходимо обратить внимание на отличие в твердости чистых металлов и их сплавов.



МО-15 02 06-ОП.04.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.17/51

### *Содержание отчета:*

Наименование практического занятия

Цель занятия

Отчет о выполнении всех пунктов из раздела «Содержание и порядок выполнения работы»

Список использованных источников

Выводы и предложения

Дата и подписи студента и преподавателя

### *Вопросы для самопроверки:*

1. Что такое вязкость металла?
2. Для чего определяют вязкость металлов?
3. В каких единицах измеряется вязкость металлов?
4. Что обозначают цифры в марке маятникового копра МК 30.
5. Для чего служит концентратор напряжений?

### **Практическое занятие №3 Построение диаграммы железо-цементит. Изучение диаграммы состояния железо-углерод (Fe-C)**

*Цель:* изучение диаграммы сплава железо-углерод и анализ превращений, происходящих в сплавах при образовании фаз и структур.

*Формируемые общие и профессиональные компетенции:* ОК01, ОК02, ОК03, ОК04, ОК05, ОК06, ОК07, ОК09, ПК1.1, ПК 1.2, ПК 1.3, ПК 4.1, ПК 4.2, ПК 4.3.

*Формируемые личностные результаты:* ЛР 13, ЛР 18, ЛР 19, ЛР 22, ЛР 32.

### *Методические рекомендации*

Железоуглеродистые сплавы – стали и чугуны – важнейшие металлические сплавы современной техники. Производство чугуна и стали по объему превосходит производство всех других металлов вместе взятых более чем в десять раз.

Диаграмма состояния железо – углерод дает основное представление о строении железоуглеродистых сплавов – сталей и чугунов.

Начало изучению диаграммы железо – углерод положил Чернов Д.К. в 1868 году. Чернов впервые указал на существование в стали критических точек и на зависимость их положения от содержания углерода.

Диаграмма железо – углерод должна распространяться от железа до углерода. Железо образует с углеродом химическое соединение: цементит –  $Fe_3C$ . Каждое

устойчивое химическое соединение можно рассматривать как компонент, а диаграмму – по частям. Так как на практике применяют металлические сплавы с содержанием углерода до 5%, то рассматриваем часть диаграммы состояния от железа до химического соединения цементита, содержащего 6,67% углерода.

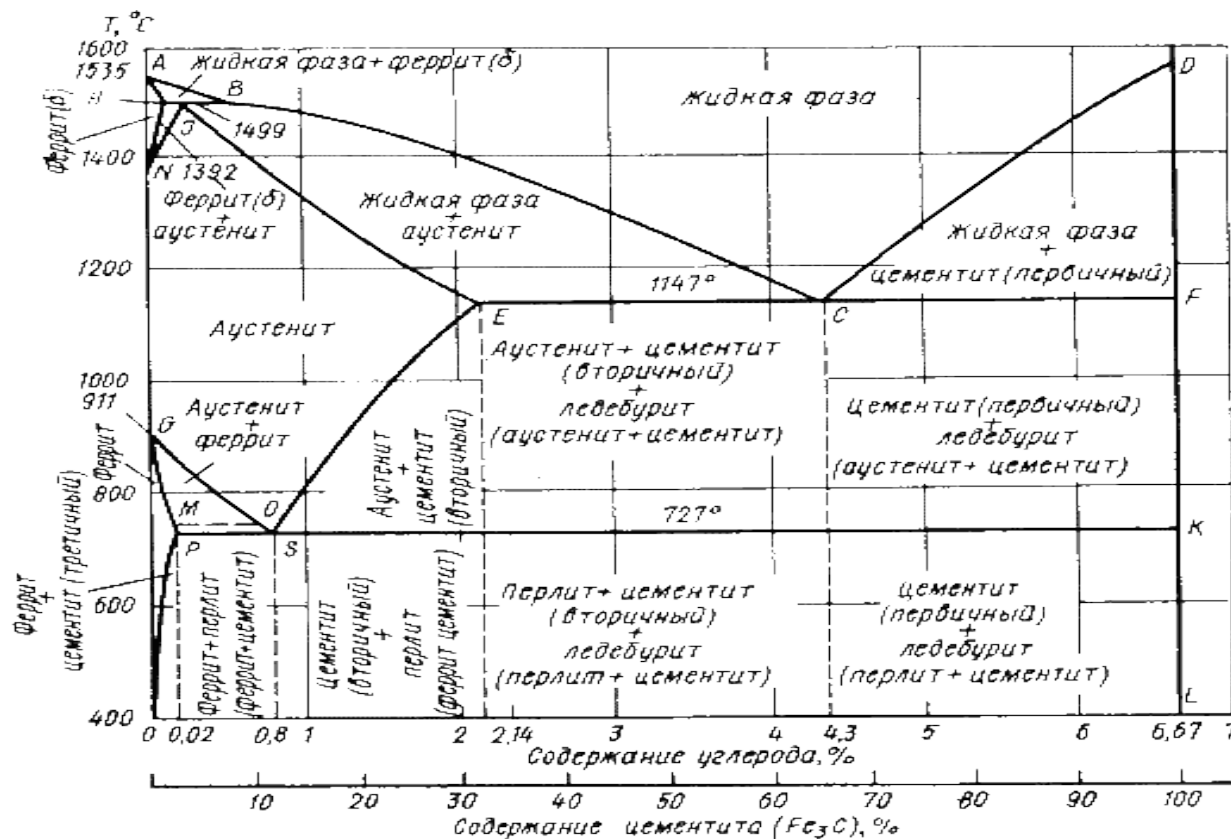


Рис. 9.1 Диаграмма состояния железо - цементит

### Компоненты и фазы железоуглеродистых сплавов

Компонентами железоуглеродистых сплавов являются железо, углерод и цементит.

1. Железо – переходный металл серебристо-светлого цвета. Имеет высокую температуру плавления –  $1539^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

В твердом состоянии железо может находиться в двух модификациях. Полиморфные превращения происходят при температурах  $911^{\circ}\text{C}$  и  $1392^{\circ}\text{C}$ . При температуре ниже  $911^{\circ}\text{C}$  существует  $\text{Fe}_{\alpha}$  с объемно-центрированной кубической решеткой. В интервале температур  $911...1392^{\circ}\text{C}$  устойчивым является  $\text{Fe}_{\gamma}$  с гранецентрированной кубической решеткой. Выше  $1392^{\circ}\text{C}$  железо имеет объемно-центрированную кубическую решетку и называется  $\text{Fe}_{\delta}$  или высокотемпературное

МО-15 02 06-ОП.04.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.19/51

$Fe_{\alpha}$ . Высокотемпературная модификация  $Fe_{\alpha}$  не представляет собой новой аллотропической формы. Критическую температуру  $911^{\circ}\text{C}$  превращения  $Fe_{\alpha} \leftrightarrow Fe_{\gamma}$  обозначают точкой  $A_3$ , а температуру  $1392^{\circ}\text{C}$  превращения  $Fe_{\alpha} \leftrightarrow Fe_{\gamma}$  - точкой  $A_4$ .

При температуре ниже  $768^{\circ}\text{C}$  железо ферромагнитно, а выше – парамагнитно. Точка Кюри железа  $768^{\circ}\text{C}$  обозначается  $A_2$ .

Железо технической чистоты обладает невысокой твердостью (80 НВ) и прочностью (предел прочности –  $\sigma_B = 250 \text{ МПа}$ , предел текучести –  $\sigma_T = 120 \text{ МПа}$ ) и высокими характеристиками пластичности (относительное удлинение –  $\delta = 50\%$ , а относительное сужение –  $\psi = 80\%$ ). Свойства могут изменяться в некоторых пределах в зависимости от величины зерна.

Железо характеризуется высоким модулем упругости, наличие которого проявляется и в сплавах на его основе, обеспечивая высокую жесткость деталей из этих сплавов.

Железо со многими элементами образует растворы: с металлами – растворы замещения, с углеродом, азотом и водородом – растворы внедрения.

2. Углерод относится к неметаллам. Обладает полиморфным превращением, в зависимости от условий образования существует в форме графита с гексагональной кристаллической решеткой (температура плавления –  $3500^{\circ}\text{C}$ , плотность –  $2,5 \text{ г/см}^3$ ) или в форме алмаза со сложной кубической решеткой с координационным числом равным четырем (температура плавления –  $5000^{\circ}\text{C}$ ).

В сплавах железа с углеродом углерод находится в состоянии твердого раствора с железом и в виде химического соединения – цементита ( $Fe_3C$ ), а также в свободном состоянии в виде графита (в серых чугунах).

3. Цементит ( $Fe_3C$ ) – химическое соединение железа с углеродом (карбид железа), содержит 6,67 % углерода.

Аллотропических превращений не испытывает. Кристаллическая решетка цементита состоит из ряда октаэдров, оси которых наклонены друг к другу.

Температура плавления цементита точно не установлена ( $1250, 1550^{\circ}\text{C}$ ). При низких температурах цементит слабо ферромагнитен, магнитные свойства теряет при температуре около  $217^{\circ}\text{C}$ .

Цементит имеет высокую твердость (более 800 НВ, легко царапает стекло), но чрезвычайно низкую, практически нулевую, пластичность. Такие свойства являются следствием сложного строения кристаллической решетки.

Цементит способен образовывать твердые растворы замещения. Атомы углерода могут замещаться атомами неметаллов: азотом, кислородом; атомы железа – металлами: марганцем, хромом, вольфрамом и др. Такой твердый раствор на базе решетки цементита называется *легированным цементитом*.

Цементит – соединение неустойчивое и при определенных условиях распадается с образованием свободного углерода в виде графита. Этот процесс имеет важное практическое значение при структурообразовании чугунов.

В системе железо – углерод существуют следующие фазы: жидкая фаза, феррит, аустенит, цементит.

1. Жидкая фаза. В жидком состоянии железо хорошо растворяет углерод в любых пропорциях с образованием однородной жидкой фазы.

2. *Феррит* ( $\Phi$ )  $^{Fe_{\alpha}}$  (C) – твердый раствор внедрения углерода в  $\alpha$ -железо.

Феррит имеет переменную предельную растворимость углерода: минимальную – 0,006 % при комнатной температуре (точка Q), максимальную – 0,02 % при температуре 727° C (точка P). Углерод располагается в дефектах решетки.

При температуре выше 1392° C существует высокотемпературный феррит ( $\delta$ ) ( $^{Fe_{\delta}}$  (C)), с предельной растворимостью углерода 0,1 % при температуре 1499° C (точка J)

Свойства феррита близки к свойствам железа. Он мягок (твердость – 130 HB, предел прочности –  $\sigma_B = 300 \text{ МПа}$ ) и пластичен (относительное удлинение –  $\delta = 30\%$ ), магнитен до 768° C.

3. *Аустенит* (A)  $^{Fe_{\gamma}}$  (C) – твердый раствор внедрения углерода в  $\gamma$ -железо.

Углерод занимает место в центре гранецентрированной кубической ячейки.

Аустенит имеет переменную предельную растворимость углерода: минимальную – 0,8 % при температуре 727° C (точка S), максимальную – 2,14 % при температуре 1147° C (точка E).

Аустенит имеет твердость 200...250 HB, пластичен (относительное удлинение –  $\delta = 40...50\%$ ), парамагнитен.

При растворении в аустените других элементов могут изменяться свойства и температурные границы существования.

4. *Цементит* – характеристика дана выше.

В железоуглеродистых сплавах присутствуют фазы: цементит первичный ( $C_I$ ), цементит вторичный ( $C_{II}$ ), цементит третичный ( $C_{III}$ ). Химические и физические свойства этих фаз одинаковы. Влияние на механические свойства сплавов оказывает

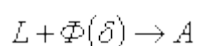
МО-15 02 06-ОП.04.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.21/51

различие в размерах, количестве и расположении этих выделений. Цементит первичный выделяется из жидкой фазы в виде крупных пластинчатых кристаллов. Цементит вторичный выделяется из аустенита и располагается в виде сетки вокруг зерен аустенита (при охлаждении – вокруг зерен перлита). Цементит третичный выделяется из феррита и в виде мелких включений располагается у границ ферритных зерен.

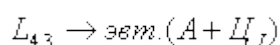
### Процессы при структурообразовании железоуглеродистых сплавов

Линия  $ABCD$  – ликвидус системы. На участке  $AB$  начинается кристаллизация феррита ( $\delta$ ), на участке  $BC$  начинается кристаллизация аустенита, на участке  $CD$  – кристаллизация цементита первичного.

Линия  $АНJECF$  – линия солидус. На участке  $АН$  заканчивается кристаллизация феррита ( $\delta$ ). На линии  $HJB$  при постоянной температуре  $1499^{\circ}\text{C}$  идет перетектическое превращение, заключающееся в том, что жидкая фаза реагирует с ранее образовавшимися кристаллами феррита ( $\delta$ ), в результате чего образуется аустенит:



На участке  $JE$  заканчивается кристаллизация аустенита. На участке  $ECF$  при постоянной температуре  $1147^{\circ}\text{C}$  идет эвтектическое превращение, заключающееся в том, что жидкость, содержащая 4,3 % углерода превращается в эвтектическую смесь аустенита и цементита первичного:



Эвтектика системы железо – цементит называется ледебуритом ( $\text{Л}$ ), по имени немецкого ученого Ледебура, содержит 4,3 % углерода.

При температуре ниже  $727^{\circ}\text{C}$  в состав ледебурита входят цементит первичный и перлит, его называют ледебурит превращенный ( $\text{ЛП}$ ).

По линии  $HN$  начинается превращение феррита ( $\delta$ ) в аустенит, обусловленное полиморфным превращением железа. По линии  $NJ$  превращение феррита ( $\delta$ ) в аустенит заканчивается.

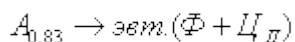
По линии  $GS$  превращение аустенита в феррит, обусловленное полиморфным превращением железа. По линии  $PG$  превращение аустенита в феррит заканчивается.

По линии  $ES$  начинается выделение цементита вторичного из аустенита, обусловленное снижением растворимости углерода в аустените при понижении температуры.

МО-15 02 06-ОП.04.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.22/51

По линии МО при постоянной температуре 768° С имеют место магнитные превращения.

По линии PSK при постоянной температуре 727° С идет эвтектоидное превращение, заключающееся в том, что аустенит, содержащий 0,8 % углерода, превращается в эвтектоидную смесь феррита и цементита вторичного:



По механизму данное превращение похоже на эвтектическое, но протекает в твердом состоянии.

Эвтектоид системы железо – цементит называется перлитом (П), содержит 0,8 % углерода.

Название получил за то, что на полированном и протравленном шлифе наблюдается перламутровый блеск.

Перлит может существовать в зернистой и пластинчатой форме, в зависимости от условий образования.

По линии PQ начинается выделение цементита третичного из феррита, обусловленное снижением растворимости углерода в феррите при понижении температуры.

Температуры, при которых происходят фазовые и структурные превращения в сплавах системы железо – цементит, т.е. критические точки, имеют условные обозначения.

Обозначаются буквой А (от французского *arret* – остановка):

A1 – линия PSK (7270С) – превращение  $\text{П} \leftrightarrow \text{А}$ ;

A2 – линия МО (7680С, т. Кюри) – магнитные превращения;

A3 – линия GOS ( переменная температура, зависящая от содержания углерода в сплаве) – превращение  $\Phi \leftrightarrow \text{А}$ ;

A4 – линия NJ (переменная температура, зависящая от содержания углерода в сплаве) – превращение  $A \leftrightarrow \Phi(\delta)$ ;

Acm – линия SE (переменная температура, зависящая от содержания углерода в сплаве) – начало выделения цементита вторичного (иногда обозначается A3).

Так как при нагреве и охлаждении превращения совершаются при различных температурах, чтобы отличить эти процессы вводятся дополнительные обозначения.

При нагреве добавляют букву с, т.е.  $A_{c1}$ , при охлаждении – букву г, т.е.  $A_{r1}$ .

*Используемые источники:* [1]; [2]; [3].

*Содержание и порядок выполнения работы:*

МО-15 02 06-ОП.04.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.23/51

1. Изучить теоретический материал по теме занятия.

2. Начертить диаграмму железо-углерод с указанием всех областей и точек в масштабе.

3. Для стали, содержащей 0,5% и 1,3% углерода, определить все фазовые превращения.

4. Оформить отчет

*Выводы и предложения:*

В результате проделанной работы курсанты должны проанализировать строение сталей в зависимости от температуры и содержания углерода. Кроме того необходимо обратить внимание, что дана диаграмма является основой для рационального выбора оптимальных режимов термической обработки железоуглеродистых сплавов.

*Содержание отчета:*

Наименование практического занятия

Цель занятия

Отчет о выполнении всех пунктов из раздела «Содержание и порядок выполнения работы»

Список использованных источников

Выводы и предложения

Дата и подписи студента и преподавателя

*Вопросы для самопроверки:*

1. Какие линии диаграммы называются ликвидусом, солидусом?

2. Какие точки диаграммы называют «точками эвтектики»?

3. С какой температуры начинается кристаллизация стали 50?

4. Почему диаграмма железо-углерод имеет большое практическое значение?

### **Тема 1.3 Диаграммы состояния металлов и сплавов**

#### **Практическое занятие №4 Микроскопический анализ структуры чугунов**

*Цель:* изучение структурных составляющих чугунов, по форме графитовых включений.

*Формируемые общие и профессиональные компетенции:* ОК01, ОК02, ОК03, ОК04, ОК05, ОК06, ОК07, ОК09, ПК1.1, ПК 1.2, ПК 1.3, ПК 4.1, ПК 4.2, ПК 4.3.

МО-15 02 06-ОП.04.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.24/51

*Формируемые личностные результаты: ЛР 13, ЛР 18, ЛР 19, ЛР 22, ЛР 32.*

### *Методические рекомендации*

Изучение микроструктуры чугунов производится в равновесном состоянии, т.е. при медленном охлаждении.

За основу принимаются диаграммы: железо-цементит Fe-Fe<sub>3</sub>C (относительно устойчивого равновесия), железо-графит Fe-C (абсолютно устойчивого равновесия).

Диаграмма состояния Fe-Fe<sub>3</sub>C называется цементной, а диаграмма состояния Fe-C – графитной.

Превращения в сталях (при нагреве и при охлаждении) обычно происходят в соответствии с цементной диаграммой, а превращения в чугунах могут протекать как по цементной, так и по графитной диаграмме.

С помощью микроанализа можно установить связь между микроструктурой и свойствами чугуна. Углерод в чугуне может находиться, как в свободном состоянии, т.е. в виде графита, так и в химическом связанном состоянии в виде цементита – Fe<sub>3</sub>C. Графитные включения в чугунах хорошо видны в нетравленных шлифах. Изучение металлической основы производится на травленных микрошлифах.

### *Белые чугуны*

В зависимости от содержания углерода разделяются на доэвтектические (2,0 до 4,3 % C), эвтектические (4,3 % C) и заэвтектические (от 4,3 до 6,67 % C).

Эвтектический белый чугун состоит из ледебурита (при обыкновенной температуре ледебурит состоит из перлита и цементита).

Доэвтектический белый чугун состоит из ледебурита + перлита + цементита вторичного.

Заэвтектический белый чугун состоит из ледебурита + цементита первичного.

### *Серые чугуны*

Металлическая основа в серых чугунах весьма сходна с основой стали. В зависимости от количества химической связанной углерода различают серые чугуны: ферритный, ферритно-перлитный и перлитный. Графит выделяется в виде пластин.

Перлитный - перлит + пластинчатый графит.

Феррито-перлитный - феррит + пластинчатый графит.

### *Ковкие чугуны*



МО-15 02 06-ОП.04.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.25/51

Металлическая основа ковкого чугуна может быть ферритной и перлитной. Графит в ковких чугунах имеет хлопьевидную форму. Микроструктура ферритного чугуна состоит из феррита + графита, а перлитного ковкого чугуна из перлита + графита.

#### Высокопрочные чугуны

Высокопрочный чугун представляет из себя серый чугун с округлой (глобулярной) формой графита, получаемый при модификации магнием или хромом. Округлая форма графита определяет наибольшую сплошность металлической основы, а, следовательно, высокую прочность, повышенную пластичность и ударную вязкость. Высокопрочный чугун имеет структуру феррита и перлита с округленными включениями графита.

*Используемые источники:* [1]; [2]; [3].

#### *Содержание и порядок выполнения работы:*

1. Изучить структуру чугунов: белых, серых, ковких и высокопрочных в равновесном состоянии.
2. Зарисовать структуры изучаемых чугунов.
3. Под каждым рисунком дать наименование чугуна с обозначением структуры.
4. Дать характеристику основной металлической структуры образцов из серого чугуна.
5. Оформить отчет

#### *Выводы и предложения:*

В результате проделанной работы курсанты должны проанализировать строение чугунов в зависимости от графитовых включений и сделать вывод о применении различных марок чугуна

#### *Содержание отчета:*

Наименование практического занятия

Цель занятия

Отчет о выполнении всех пунктов из раздела «Содержание и порядок выполнения работы»

Список использованных источников

Выводы и предложения

Дата и подписи студента и преподавателя

#### *Вопросы для самопроверки:*

МО-15 02 06-ОП.04.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.26/51

1. Сколько углерода содержится в чугунах?
2. Как различают чугуны по форме графитовых включений ?
3. Как различаются свойства чугуна от формы графитовых включений?
4. Расшифровать марку чугуна СЧ 20, КЧ55-4.

### **Практическое занятие №5 Микроскопический анализ структуры углеродистых сталей**

*Цель:* изучение структурных составляющих углеродистых сталей, их свойств и применения.

*Формируемые общие и профессиональные компетенции:* ОК01, ОК02, ОК03, ОК04, ОК05, ОК06, ОК07, ОК09, ПК1.1, ПК 1.2, ПК 1.3, ПК 4.1, ПК 4.2, ПК 4.3.

*Формируемые личностные результаты:* ЛР 13, ЛР 18, ЛР 19, ЛР 22, ЛР 32.

#### *Методические рекомендации*

Микроскопический анализ металлов и сплавов заключается в исследовании их структуры с помощью микроскопов. При микроанализе можно определить величину зерна, компоненты структуры, влияние легирующих элементов, качество термообработки, химико-термической обработки и т.д. Исследование микрошлифов производится на металлографическом или электронном микроскопах.

Микроструктура углеродистых сталей для равновесных состояний характеризуется нижней левой частью диаграммы Fe-Fe<sub>3</sub>C. Сплавы с содержанием углерода 0,006-0,8 % называют доэвтектоидными сталями. Сплав с содержанием 0,8 % углерода называется эвтектоидной сталью. Сплавы с содержанием 0,8 % - 2,0 % углерода называются заэвтектоидными сталями.

#### Характеристика структурных составляющих сталей

**Феррит** представляет собой твердый раствор углерода в  $Fe_{\alpha}$ . При травлении 4-х % раствором азотной кислоты зерна феррита получают светлыми с четкими границами зерен. Механические свойства феррита весьма низкие:

80 НВ

$G_B \approx 250$  МПа.

**Перлит.** Перлитом называют механическую смесь феррита и цементита вторичного, являющейся продуктом распада медленно охлаждаемого аустенита. Концентрация углерода в перлите составляет 0,8 %. Механические свойства перлита зависят от величины и формы цементита вторичного.

160-220 НВ

МО-15 02 06-ОП.04.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.27/51

$G_B \approx 600-1300 \text{ МПа}$

*Цементит* представляет собой химическое соединение железа с углеродом  $\text{Fe}_3\text{C}$ . Цементит весьма хрупок и тверд. Цементит входит в структуру заэвтектоидной стали.

*Используемые источники:* [1]; [2]; [3].

*Содержание и порядок выполнения работы:*

1. Зарисовать микроструктуры, указать стрелками разные фазы и структурные составляющие, написать их наименование.
2. По содержанию углерода определить марку и механические свойства исследуемой стали.
3. Начертить диаграмму  $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ , указать на диаграмме исследуемые стали, проводя вертикальные линии, охарактеризовать структурные составляющие исследуемых сталей. Построить кривые охлаждения исследуемых сталей.

*Выводы и предложения:*

В результате проделанной работы курсанты должны проанализировать строение сталей и сделать вывод о применении различных марок углеродистых сталей

*Содержание отчета:*

Наименование практического занятия

Цель занятия

Отчет о выполнении всех пунктов из раздела «Содержание и порядок выполнения работы»

Список использованных источников

Выводы и предложения

Дата и подписи студента и преподавателя

*Вопросы для самопроверки:*

1. Объясните пластическую и упругую деформацию.
2. Понятие о сплаве. Природа сплавов: химическое соединение, механическая смесь, твердый раствор компонентов.
3. Рассмотреть диаграмму  $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ .
4. Начертите диаграмму растяжения мягкого материала. Укажите основные характеристики точки.
5. Построить кривую охлаждения сплава: сталь 15.
6. Построить кривую охлаждения сплава: сталь У10.

МО-15 02 06-ОП.04.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.28/51

7. Построить кривую охлаждения сплава: сталь У12.
8. Построить кривую охлаждения сплава: сталь 45.
9. Построить кривую охлаждения сплава: сталь У7.

## Практическое занятие №6 Выбор режима термической обработки стали

### Цель работы:

Изучить влияние термической обработки на механические свойства сталей. Научиться подбирать вид и режим термической обработки для конкретных сталей, с учетом назначения детали, используя справочные данные.

*Формируемые общие и профессиональные компетенции:* ОК01, ОК02, ОК03, ОК04, ОК05, ОК06, ОК07, ОК09, ПК1.1, ПК 1.2, ПК 1.3, ПК 4.1, ПК 4.2, ПК 4.3.

*Формируемые личностные результаты:* ЛР 13, ЛР 18, ЛР 19, ЛР 22, ЛР 32.

### Методические рекомендации:

Таблица 1 – Термическая обработка стали. Виды термической обработки

Наименование обработки	Краткая характеристика и примечание	Режим
Отжиг	Медленное охлаждение нагретой стали (с печью, в горячей золе, песке, цементе и т.п.). В зависимости от температуры нагрева подразделяется на: полный, неполный, диффузионный, рекристаллизационный.	Скорость до 500 °С 50 -100°С в час для углеродистых и 20-60 °С в час для легированных сталей, затем на воздухе.
Полный отжиг	Выравнивает структуру по всей площади сечения; снижает твердость и облегчает обрабатываемость; снимает внутренние напряжения, ликвидирует перегрев, измельчая структуру. Поковки и отливки только из доэвтектоидных сталей.	Температура нагрева до 20-50 °С выше Ас <sub>3</sub> .
Неполный отжиг	Обеспечивает получение зернистого перлита, обладающего лучшей обрабатываемостью, чем пластинчатый. Только эвтектоидная и заэвтектоидные стали	Температура нагрева на 20-40 °С выше Ас <sub>1</sub>
Диффузионный отжиг (гомогенизационный)	Выравнивает химический состав по всему сечению. Отливки из легированных доэвтектоидных сталей.	Температура нагрева на 150-200 °С выше Ас <sub>3</sub> с длительной выдержкой.
Рекристаллизационный	Снимает наклеп, увеличивая пластичность и уменьшая твердость; улучшает обрабатываемость. Все стали после холодной штамповки либо грубой механической обработки	Температура нагрева на 20-50°С ниже Ас <sub>1</sub>
Отжиг нормализационный (нормализация)	Устраняет внутренние напряжения; выравнивает и измельчает структуру; улучшает механические свойства стали; разрушает карбидную сетку у заэвтектоидных сталей. После горячей или грубой механической обработки стали перед цементацией и после нее.	Нагрев на 30-80°С выше Ас <sub>3</sub> (Ас <sub>т</sub> ), охлаждение на спокойном воздухе

Продолжение

Наименование обработки	Краткая характеристика и примечание	Режим
Закалка	Форсированное охлаждение стали, нагретой до температуры выше $A_{c1}$ . Повышает твердость, прочность и износоустойчивость; измельчает структуру. Стали, с содержанием углерода менее 0.3 %, перед закалкой подвергаются поверхностному науглероживанию (цементации), а с содержанием углерода 0,3 % и более закаливают без дополнительной обработки. В зависимости от температуры нагрева закалка подразделяется на полную и неполную. Широко применяется для всех групп сталей.	Скорость охлаждения и охлаждающая среда: вода, масло, струя воздуха и т.п. - назначаются в зависимости от химического состава стали и требований, предъявляемых к детали.
Полная закалка	Применяется для доэвтектоидных сталей, обеспечивая им максимально возможную твердость.	Температура нагрева на 20-50°С выше $A_{c3}$ .
Неполная закалка	Применяется для эвтектоидной и заэвтектоидных сталей, обеспечивая им максимально возможную твердость	Температура нагрева на 30-50°С выше $A_{c1}$
Поверхностная закалка	Повышает твердость только поверхностного слоя. Применяется в тех случаях, когда необходима высокая износоустойчивость поверхности и мягкая сердцевина детали, например для шеек тяжелых валов, работающих в подшипниках.	Нагрев поверхностного слоя при помощи токов высокой частоты (ТВЧ) или горелок на 50-70°С выше $A_{c3}$ с последующим быстрым охлаждением.
Отпуск	Производится немедленно, после закалки с целью придания стали необходимых механических свойств. В зависимости от температуры нагрева подразделяется на: низкий, средний и высокий	Нагрев ниже $A_{c1}$ , скорость охлаждения назначается в зависимости от химического состава стали
Низкий отпуск	Понижает внутренние напряжения, возникшие в процессе закалки, без заметного снижения твердости и хрупкости. Режущий инструмент, не подвергающийся ударам; измерительный инструмент; поверхности деталей, работающих в условиях трения.	Температура нагрева 150-250 °С. Для специальных легированных сталей интервал температур иной.
Средний отпуск	Снимает внутренние напряжения и хрупкость, возникшие в процессе закалки, при некотором понижении твердости. Режущий инструмент, подвергающийся ударной нагрузке; пружины.	Температура нагрева 300-450°С. Для специальных легированных сталей интервал температур иной.
Высокий отпуск	Снимает внутренние напряжения и хрупкость, возникшие в процессе закалки; увеличивает вязкость и значительно понижает твердость; после высокого отпуска возможна обработка лезвийным инструментом. Ответственные детали машин: валы; шатунные болты и т.п.	Температура нагрева 500-700°С. Для специальных легированных сталей интервал температур иной.

### Продолжение

Наименование обработки	Краткая характеристика и примечание	Режим
Улучшение	Двойная термическая обработка, состоящая из закалки и последующего высокого отпуска.	Смотри закалку и высокий отпуск.
Искусственное старение (прерывистое)	Стабилизирует размеры детали. Применяется после отпуска при обработке особо точных изделий, например калибров, прецизионных деталей топливной аппаратуры.	Нагрев 110 -140°C, выдержка 2-3 ч., охлаждение в масле при 20-25°C. Операция повторяется 3-4 раза. Иногда заменяется однократным нагревом с длительной выдержкой.
Обработка холодом	Увеличивает твердость, переводя остаточный аустенит в мартенсит. Применяется немедленно после закалки (до отпуска) для деталей ответственного назначения и инструмента, изготовленных из углеродистых и легированных сталей с содержанием углерода свыше 0,6 %. После обработки холодом необходим низкий отпуск.	Температура охлаждения от -20 до -100°C, в зависимости от химического состава стали.

### *Примеры закалки стали*

Цель закалки стали - повышение ее твердости и прочности. Закалка необходима для очень многих деталей и изделий. Она основана на перекристаллизации стали при нагреве до температуры выше критической; после достаточной выдержки при этой температуре следует быстрое охлаждение. Таким путем предотвращают превращение аустенита в перлит.

Нагревать детали, особенно крупные, нужно постепенно, чтобы избежать местных напряжений и трещин, а время выдержки нагретой детали должно быть достаточным, чтобы переход перлита в аустенит полностью завершился. Продолжительность выдержки обычно равна четверти общей продолжительности нагревания.

### *Охлаждение деталей при закалке*

Скорость охлаждения деталей при закалке должна быть такой, чтобы деталь получилась заданной структуры.

При скорости охлаждения меньше критической в структуре закаленной стали, наряду с мартенситом, будет троостит, а при дальнейшем уменьшении скорости получают структуры троостита или сорбита без мартенсита.

При закалке применяют различные способы охлаждения, в зависимости от марки стали, формы и размеров детали и технических требований к ним.

### *Виды поверхностной закалки*

К поверхностным закалкам относятся закалка при помощи газовой горелки и закалка токами высокой частоты. При поверхностной закалке выше критической температуры нагревается только тонкий поверхностный слой детали, а внутри металл почти не нагревается. После закалки детали имеют твердый поверхностный слой и вязкую сердцевину.

#### *Закалка при помощи газовой горелки*

Закалка при помощи газовой горелки схематично показана на рисунке – 1.

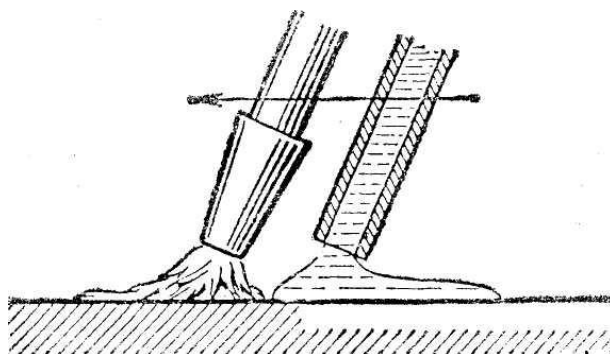


Рисунок – 1

Кислородно-ацетиленовое пламя газовой горелки с температурой около 3200°С направляется на поверхность закаливаемой детали, и быстро нагревает ее до температуры выше критической. Вслед за горелкой из трубки на поверхность детали направляется струя воды, закаливая нагретый слой стали.

Этот способ применяется для закалки изделий с большой поверхностью, например, для прокатных валков, зубьев больших шестерен и других деталей.

#### *Закалка токами высокой частоты*

Закалка токами высокой частоты по методу в, и, Вологодина нашла очень широкое применение в промышленности, так как отличается высокой производительностью, легко поддается автоматизации, обеспечивает получение мелкозернистой структуры, более высокой твердости и прочности, чем при закалке с нагревом в печи.



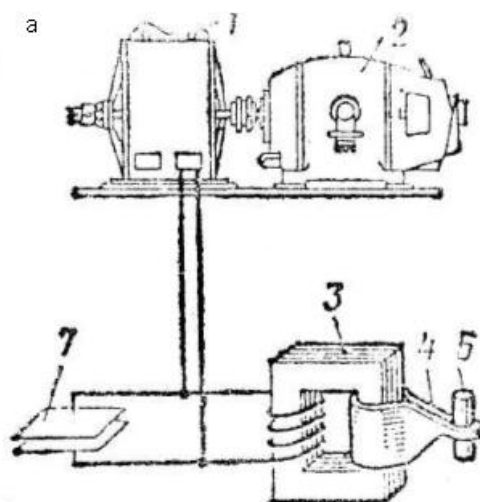


Рисунок – 2а.

Закаливаемая деталь 5 (рисунок – 2а) помещается в индуктор 4, по которому пропускается ток высокой частоты. Ток поступает через трансформатор 3 от машинного генератора 1, приводимого во вращение электродвигателем 2. Возбуждаемый при этом в детали ток имеет наибольшую плотность у поверхности и быстро нагревает поверхностный слой детали. Нагретая деталь охлаждается при обрызгивании водой через отверстия на внутренней поверхности индуктора или через отверстия спрейера (рисунок – 3б).

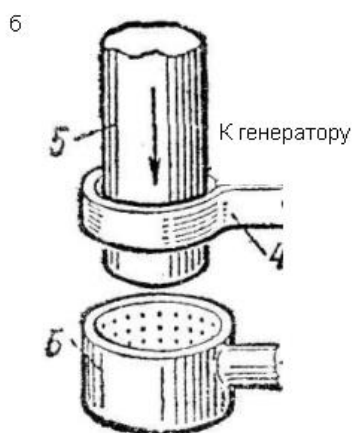


Рисунок – 3б.

Для улучшения коэффициента мощности высокочастотной установки включены конденсаторы 7 (рисунок – 2а).

Регулируя мощность тока и время выдержки, можно ограничить нагрев на толщину от долей миллиметра до десятков миллиметров.

Машинные генераторы с частотой тока до 1 0000 Гц обычно применяют для закалки на глубину свыше 2 мм, при закалке на глубину меньше 2 мм пользуются высокочастотными ламповыми генераторами, создающими ток весьма высокой ча-

МО-15 02 06-ОП.04.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.34/51

стоты, который можно изменять в зависимости от особенностей закаливаемых деталей.

### *Дефекты закалки*

К дефектам закалки относятся: трещины, поводка или коробление, обезуглероживание.

Главная причина трещин и поводки - неравномерное изменение объема детали при нагреве и, особенно, при резком охлаждении. Другая причина - увеличение объема при закалке на мартенсит.

Трещины возникают потому, что напряжения при неравномерном изменении объема в отдельных местах детали превышают прочность металла в этих местах.

Коробление (или поводка) возникает также от напряжений в результате неравномерного охлаждения и проявляется в искривлениях деталей. Если эти искривления не велики, они могут быть исправлены, например, шлифованием.

Обезуглероживание стали с поверхности является результатом выгорания углерода при высоком и продолжительном нагреве детали в окислительной среде. Для предотвращения обезуглероживания детали нагревают в восстановительной или нейтральной среде (восстановительное пламя, муфельные печи, нагрев в жидких средах).

*Используемые источники:* [1]; [2]; [3].

### *Задание:*

1. Рекомендовать режимы термической обработки (отжиг, нормализация, закалка и отпуск).
2. Охарактеризовать структуры рассматриваемых сталей, указать механические свойства.
3. Дать обоснование выбранного режима термической обработки, сравнить с рекомендациями справочных данных.
4. Составить отчет о практической работе.

*Примечание:* повторить классификацию, маркировку и назначение легированных сталей; при выборе режима термической обработки необходимо указать получаемую структуру и свойства, наиболее экономичные и производительные способы; рекомендовать способы определения твердости после термической обработки

МО-15 02 06-ОП.04.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.35/51

### *Выводы и предложения:*

В результате проделанной работы курсанты должны проанализировать свойства сталей до и после термической обработки и сделать вывод о применении различных способов термической обработки.

### *Содержание отчета:*

Наименование практического занятия

Цель занятия

Отчет о выполнении всех пунктов из раздела «Содержание и порядок выполнения работы»

Список использованных источников

Выводы и предложения

Дата и подписи студента и преподавателя

### *Вопросы для самопроверки:*

1. Какие виды термической обработки относятся к предварительным операциям термической обработки?
2. Для каких деталей производят рекристаллизационный отжиг?
3. В чем заключается процесс поверхностной закалки, и для каких деталей его производят?

## **Практическое занятие №7 Закалка и отпуск углеродистой стали**

*Цель работы:* Изучить влияние термической обработки на механические свойства сталей.

*Формируемые общие и профессиональные компетенции:* ОК01, ОК02, ОК03, ОК04, ОК05, ОК06, ОК07, ОК09, ПК1.1, ПК 1.2, ПК 1.3, ПК 4.1, ПК 4.2, ПК 4.3.

*Формируемые личностные результаты:* ЛР 13, ЛР 18, ЛР 19, ЛР 22, ЛР 32.

### *Методические указания:*

Закалка стали

Закалка производится с целью повышения механических свойств стали: твердости, предела прочности, упругости и сопротивлению износу. Закалку применяют для режущих и измерительных инструментов, деталей машин, подвергающихся износу или имеющих значительные нагрузки (резцы, сверла, распределительные и коленчатые валы и др.).

Процесс закалки складывается из следующих этапов, выполняемых в следующей последовательности:

1. нагревание детали до температуры закалки;
2. выдержка детали в течение определённого времени при заданной температуре;
3. Охлаждение детали с нужной скоростью.

Известно, что закаленное состояние характеризуется структурой мартенсит, образующегося в результате бездиффузионного превращения аустенита, когда последний охлаждают с соответствующей скоростью. Температура стали под закалку определяется по диаграмме состояния. Для доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной сталей температуры принимаются соответственно равными.

$$T_{\text{закалки}} = A_{C3} - A_{C1} + (30 - 50^{\circ})$$

Указанные температурные интервалы для названных классов сталей являются наилучшими. Иные температуры нагрева для закалки стали нежелательны. Время нагрева и выдержки берётся к 1/4 - 1/5 времени нагрева. За указанное время вследствие диффузии атомов происходит выравнивание концентрации углерода и других элементов во вновь образовавшейся кристаллической решетке аустенита. Если же время выдержки будет недостаточным, то в структуре закаленной стали сохранится феррит, а это снизит твердость стали. Время нагрева, а значит, и время выдержки стали зависит от температуры нагрева, нагревающей среды и формы изделий.

Таблица 1 – Нормы нагрева стали в минутах при термической обработке в лабораторных электрических печах

Температура нагрева в °С	КРУГ	КВАДРАТ	ПЛАСТИНА
	На 1 мм диаметра	На 1 мм толщины	
600	2,2	3,0	4,0
700	1,5	2,2	3,0
800	1,0	1,5	2,0
900	0,8	1,2	1,6
1000	0,4	0,6	0,8

Охлаждение закаленной стали производят с определенной скоростью, которая должна обеспечить получение нужной структуры и механических свойств. При проведении закалки очень важно действие охлаждающей среды в двух интервалах температур: интервале 600 – 400°С, когда аустенит малоустойчив и легко может распасться с образованием сорбита в интервале 300 – 200°С, когда образуется мартен-

сит и при этом увеличивается объем. Охлаждение должно вестись с большой скоростью в интервале 600 – 400°С и замедленно во втором интервале 300 – 200°С.

Таблица 2 – Скорости охлаждения, получаемые при применении некоторых наиболее распространенных охлаждающих сред

Закалочная среда	Скорость охлаждения в интервале температур, град/сек	
	600 – 550 °С	300 – 200 °С
1. Вода при 18 °С	600	270
2. Вода при 28 °С	500	270
3. Вода при 50 °С	100	270
4. 10 % раствор в воде едкого натрия	1200	300
5. Поваренной соли	1100	300
6. Соды	800	270
7. Трансформаторное масло	120	25
8. Сплав кадмия 25 % и олово 75 %	450	50
9. Спокойный воздух	18	

Из таблицы видно, что охлаждающая способность воды в первом интервале температур реже изменяется в зависимости от ее температуры и почти не изменяется во втором интервале.

Масло обладает значительно меньшей охлаждающей способностью, как в первом, так и во втором интервале. Для закалки конструкционной среднеуглеродистой стали, за исключением тонких изделий, применяют воду, для закалки инструментальной стали – масло.

### Отпуск стали

Закалённая сталь, находится в напряженном состоянии и обладает большой хрупкостью, что снижает возможности ее практического использования. Чтобы уменьшить хрупкость, ослабить напряжения, вызванные закалкой, проводят отпуск. Температура отпуска не должна превышать критические точки  $A_{c1}$  (727 °С). В результате отпуска изменяется структура стали и, как следствие, пластичность. Снижаются внутренние остаточные напряжения, а в зависимости от температуры отпуска - твердость. В зависимости от температуры нагрева детали различают низкий, средний, высокий отпуск. При низком отпуске в структуре стали остается МАРТЕНСИТ, но с неизменной решеткой, вследствие чего уменьшается твердость, незначительно уменьшаются внутренние напряжения и увеличивается пластичность.

При среднем отпуске, нагрев в пределах 300 – 450°С, и высоком отпуске, нагрев в пределах 550-600 °С, сталь из состояния мартенсита переходит в состояние тростит отпуска и сорбит отпуска.

МО-15 02 06-ОП.04.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.38/51

Время выдержки зависит от размеров деталей и температуры нагревания. Охлаждение после отпуска стали может происходить с любой скоростью, это не вызывает каких-либо структурных превращений, так как температура нагрева при всех видах отпуска ниже температуры фазовых превращений.

Нагрев образцов стали для термообработки в лабораторных условиях, производится в муфельных печах. Регулирование температуры производится реостатом с помощью ручки. Для измерения температуры применяются термоэлектрические пирометры, термопары, которые вставляются в отверстие печи, имеющееся в задней стенке. Печь до начала работы хорошо прогревают, для чего её выдерживают до трех часов при температуре 100°C.

*Используемые источники:* [1]; [2]; [3].

*Содержание и порядок выполнения работы:*

1. Определить режим закалки заданных образцов. Произвести закалку.
2. Определить твёрдость после закалки.
3. Определить режим и произвести низкий, средний и высокий отпуск закалённых образцов.
4. Определить твёрдость образцов после каждого вида отпуска
5. Сделать анализ влияния термической обработки стали на ее механические свойства.
6. Составить отчёт о работе.

*Порядок выполнения работы:*

1. Получить образцы одноименной марки и установить температуру закалки для них по диаграмме состояния железо - цементит. Обеспечить температуру нагревательного пространства печи так, чтобы она превышала температуру закалки на 10-20°C, так как всегда температура печи несколько превышает температуру образца, помещённого в печь.

2. Измерить образцы и определить время нагрева и выдержки для закалки образцов на мартенсит.

3. Взяв последовательно заданные образцы, поместить их в печь и нагревать установленное время. В целях безопасности не допускается прикосновение клещами к нагревательным спиральям печи.

Загрузку образцов, чтобы не остужать печь, делают быстро, при этом образцы размещают на поду печи на некотором расстоянии один от другого.

4. Вынув образцы из печи, быстро перенести их в охлаждающую среду. Охлаждение в воде и масле следует сопровождать энергичными перемешиваниями образца, чтобы избежать появления на его поверхности паровой рубашки, которая приводит к снижению твердости тех участков, где она находилась.

5. Обсушить и зачистить торцы образцов шлифовальной бумагой и измерить твердость закалённых образцов на твердомере типа ТК (HRC).

6. Три остальные образца исследуемой стали, предварительно закалённые на мартенсит, подвергнуть низкому, среднему и высокому отпуску. Технология нагрева аналогична нагреву при закалке, выдерживая соответствующие интервалы температур. Охлаждение после нагрева производится на воздухе.

7. Зачистить торцы образцов шлифовальной бумагой и определить твердость отпущенных образцов на твердомере типа ТК (HRC). Полученные данные занести в протокол испытаний.

8. Составить отчет о работе, в котором необходимо указать цель и задание лабораторной работы, изложить технологический процесс закалки и отпуска стали, произвести анализ изменения механических свойств этой стали в зависимости от термической обработки. Кроме того, необходимо построить кривую изменения твердости стали в зависимости от температуры отпуска.

Таблица 3

Образец	Марка стали	Твердость до обработки HB	ЗАКАЛКА					ОТПУСК				
			Температура нагрева	Охлаждающая среда	Твердость после закалки	Структура	Результат закалки	Температура нагрева	Охлаждающая среда	Твердость	Структура	Вид отпуска

### *Выводы и предложения:*

В результате проделанной работы курсанты должны проанализировать свойства сталей до и после термической обработки и сделать вывод о применении различных способов термической обработки.

### *Содержание отчета:*

Наименование практического занятия

Цель занятия

Отчет о выполнении всех пунктов из раздела «Содержание и порядок выполнения работы»

Список использованных источников

МО-15 02 06-ОП.04.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.40/51

Выводы и предложения

Дата и подписи студента и преподавателя

*Вопросы для самоконтроля:*

1. Структурные составляющие железоуглеродистых сплавов и их краткая характеристика (аустенит, феррит, перлит, цементит вторичный).
2. Структурные составляющие железоуглеродистых сплавов и их краткая характеристика (цементит, ледебурит).
3. Деление железоуглеродистых сплавов на стали и чугуны. Структурная основа сталей и чугунов.
4. Понятие о термической обработке металлов, ее назначение.
5. Факторы, определяющие режим термической обработки (основные критические точки).
6. Превращения в стали при нагревании. Основные дефекты.
7. Превращения в стали при охлаждении.
8. Сорбит, тростит, мартенсит. Получение и основные характеристики.
9. Основные виды термической обработки стали.

### **Тема 1.6 Химико-термическая обработка: виды, область применения**

#### **Практическое занятие №8 Анализ структуры термически и химически обработанных сталей**

*Цель занятия:*

Приобрести навык в выборе вида и режима термической и химико-термической обработки металлов и сплавов в зависимости от назначения детали.

*Формируемые общие и профессиональные компетенции:* ОК01, ОК02, ОК03, ОК04, ОК05, ОК06, ОК07, ОК09, ПК1.1, ПК 1.2, ПК 1.3, ПК 4.1, ПК 4.2, ПК 4.3.

*Формируемые личностные результаты:* ЛР 13, ЛР 18, ЛР 19, ЛР 22, ЛР 32.

Например, для деталей, изготавливаемых в больших количествах, рекомендуют обработку с индукционным нагревом, газовую цементацию и др.; для деталей, работающих в условиях переменных нагрузок (валов, зубчатых колес многих типов), необходимо рекомендовать обработку, повышающую предел выносливости (цементацию, цианирование, азотирование, а также закалку и отпуск).



*Методические рекомендации:*

Таблица 1 – Химико-термическая обработка

Наименование обработки	Краткая характеристика и примечание	Режим
Цементация (науглероживание)	Насыщение поверхностного слоя детали углеродом до концентрации 0,8-1 %. Обеспечивает получение (после закалки) изделие с высокой твердостью и износостойкостью на поверхности и с вязкой сердцевиной. Применяется для деталей, изготовленных из малоуглеродистых сталей (до 0,25 % углерода).	Нагрев деталей в герметически закрытой среде твердого или газообразного карбюризатора на 50-80°C выше $A_{с3}$ ; длительная (несколько часов) выдержка с последующим медленным охлаждением.
Азотирование (нитрирование)	Насыщение поверхностного слоя детали азотом после предварительного улучшения. Придает высокую твердость (80-85 HRA), износостойкость и коррозионную стойкость поверхностному слою изделия при минимальном его короблении и не требует последующей термической обработки.	Нагрев деталей в атмосфере аммиака при 500-700 °C; выдержка 20-70 ч с последующим охлаждением в парах аммиака до 100 °C.
Нитроцементация	Одновременное насыщение поверхностного слоя детали азотом и углеродом. В зависимости от температуры нагрева подразделяется на низкотемпературную, применяемую для повышения износостойкости режущего инструмента, и высокотемпературную, применяемую для создания износостойких деталей из малоуглеродистых легированных сталей.	Температура нагрева: а) 550-600 °C без последующей термической обработки (низкотемпературная); б) 850-870°C с последующей закалкой и низким отпуском (высокотемпературная).
Диффузионная металлизация	Насыщение поверхностного слоя детали каким-либо элементом для повышения таких свойств, как: жаростойкость, твердость, износостойкость, прирабатываемость и т.п. Наиболее распространенные элементы: алюминий (алитирование), хром (хромирование), бор (борирование), кремний (силицирование), фосфор (фосфатирование), сера (сульфидирование).	Нагрев детали в порошковых смесях, жидких или газовых средах. Температура нагрева для разных материалов различна.

*Используемые источники:* [1]; [2]; [3].

*Задания:*

1. Изучить условия работы заданной детали и требования, предъявляемые к ней.

МО-15 02 06-ОП.04.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.42/51

2. Рассмотреть марку стали для изготовления заданной детали, изучив её химический состав и механические свойства.

3. Рекомендовать виды и режимы химико-термической и термической обработки рекомендуемых сталей.

4. Дать обоснование выбранного вида и режима обработки детали, указать структуру детали и химическое соединение на её поверхности.

*Примечание:* при рекомендации режимов обработки необходимо также указать наиболее экономичные и производительные способы.

*Выводы и предложения:*

В результате проделанной работы курсанты должны проанализировать свойства сталей до и после химико-термической обработки и сделать вывод о применении различных способов химико-термической обработки.

*Содержание отчета:*

Наименование практического занятия

Цель занятия

Отчет о выполнении всех пунктов из раздела «Содержание и порядок выполнения работы»

Список использованных источников

Выводы и предложения

Дата и подписи студента и преподавателя

*Вопросы для самопроверки:*

Вариант № 1

Какие превращения происходят в стали, содержащей 0,5 % углерода при медленном охлаждении из расплавленного состояния?

Вариант № 2

Укажите структуру, объясните свойства стали, содержащей 1 % углерода при медленном охлаждении от 1600 до 20 градусов.

Вариант № 3

Выберите и обоснуйте химико-термическую обработку для зубчатого колеса из стали 18ХГТ.

Вариант № 4

МО-15 02 06-ОП.04.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.43/51

Выберите и обоснуйте химико-термическую обработку для шестерни из стали 38Х2МЮА.

Вариант № 5

Объясните значение всех критических точек на диаграмме состояния сплавов с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии (диаграмма Fe-Fe<sub>3</sub>C).

Вариант № 6

Выберите и обоснуйте термическую обработку для сверла из стали 9ХС.

Вариант № 7

Выберите и обоснуйте термическую обработку для рессоры из стали 60С2.

Вариант № 8

Выберите и обоснуйте термическую обработку для штампа из стали 5ХНВ.

Вариант № 9

Выберите и обоснуйте термическую и химико-термическую обработку для фрезы из быстрорежущей стали Р18.

Вариант № 10

Выберите и обоснуйте режим термической обработки для кулачковой муфты из стали 15ХФ.

### **Тема 2.3 Износостойкие материалы**

#### **Практическое занятие №9 Выбор марки сплавов цветных металлов для конкретных деталей, в зависимости от условий их эксплуатации**

*Цель работы:* знакомство с деталями из сплавов цветных металлов. Подготовка к изучению темы «Технология обработки конструкционных материалов».

*Формируемые общие и профессиональные компетенции:* ОК01, ОК02, ОК03, ОК04, ОК05, ОК06, ОК07, ОК09, ПК1.1, ПК 1.2, ПК 1.3, ПК 4.1, ПК 4.2, ПК 4.3.

*Формируемые личностные результаты:* ЛР 13, ЛР 18, ЛР 19, ЛР 22, ЛР 32.

*Методические рекомендации:*

Изучение микроструктуры цветных металлов и сплавов

*Цветные сплавы.* Сплавы на основе цветных металлов (медь, алюминий магний, титан, никель и др.) обладают лучшими механическими и технологическими

МО-15 02 06-ОП.04.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.44/51

свойствами, чем чистые металлы, поэтому они нашли широкое применение в промышленности.

*Медные сплавы* – латуни и бронзы. Латунями называют сплавы меди с цинком, содержание цинка не более 42 %. Чтобы придать латунным сплавам лучшие механические и технологические свойства, в них добавляют легирующие элементы - железо, никель, свинец, алюминий - от 2 до 8 %. Такие латуни называют специальными. Наибольшее применение имеют латуни следующих марок: Л 62, Л 68 – для получения листов, предназначенных для изготовления деталей методом глубокой штамповки; Л 59, ЛС 59-1 - для получения катаных и прессованных прутков, из которых изготавливают втулки, гайки, кольца и т.д. Из специальных латуней, благодаря высокой коррозионной стойкости и хорошим механическим свойствам, получила широкое применение латунь марки ЛС 70-1.

Латуни, содержание цинка до 39 % (Л 39, Л 90, Л 80, Л 68) имеют структуру однородного раствора замещения цинка в меди, имеющего пространственную решетку куба с центрированными гранями. Такие латуни при изменениях температуры никаких фазовых превращений не имеют. Латуни, содержание цинка от 39 до 45 %, имеют структуру однородного на базе электронного соединения и пространственная решетка у них – центрированный куб (Л 59, Л 62). Латуни подвергают рекристаллизационному отжигу при температурах 600-700°C для снятия наклепа, полученного в процессе холодной деформации.

*Бронзами* называют сплавы меди с любыми элементами, кроме цинка. В зависимости от химического состава бронзы разделяют на простые оловянистые и специальные безоловянистые. Для улучшения качества оловянистых бронз в них вводят свинец (повышает антифрикционные свойства и способствует лучшей обрабатываемости), фосфор (повышает литейные, механические и антифрикционные свойства оловянистых бронз, цинк (улучшает литейные свойства).

Бронзы, содержащие 42 % олова, практически не применяют, так как они очень хрупкие. Бронзы, обрабатываемые давлением, содержат не более 5-6 % олова. Деформируемые оловянистые бронзы БрОФ-6,5-0,15, БрОЦ4-3 БрОЦС4-4-2,5 применяют для изготовления листов, проволоки, лент и прутков.

Литейные оловянистые бронзы БрОФ10-1, БрОЦ10-2, БрОЦСН3-7-5-1 идут на изготовление различных деталей машин, работающих в условиях морской воды, в условиях пара с давлением до 25 атм, а также вкладышей подшипников.

Алюминиевые бронзы БрА5, БрА7, БрПМц9-2 применяют для изготовления лент, полос, трубок. Бронзы БрАЖН10-4-4Л, БрАЖ9-4Л применяют для фасонного

МО-15 02 06-ОП.04.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.45/51

литься. Добавки в бронзу никеля, железа, марганца повышают её сопротивление коррозии и улучшают механические свойства; например, бронза БрАЖН10-4-4 в результате закалки в воде при температуре 920 °С и последующего отпуска при температуре 650 °С имеет  $\sigma_B = 685$  МПа и 200... 250 НВ.

Марганцовистая бронза БрМЦ5 сохраняет свои механические свойства при повышенных температурах (400-450 °С), применяют её для изготовления направляющих втулок, сёдел клапанов и др.

Свинцовистая бронза БрС-30 обладает высокими антифрикционными свойствами и применяется для сильно нагруженных подшипников с большим удельным давлением (коренные подшипники турбин).

Берилевая бронза БрБ-2 после закалки ( $t = 820$  °С) и старения ( $t = 300$  °С) имеет 400 НВ и  $\sigma_B = 1176$  МПа; применяют её для изготовления пружин, мембран, инструментов, не дающих искру.

*Алюминиевые сплавы* обладают высокими механическими свойствами, небольшим удельным весом и устойчивы против коррозии. Различают две группы алюминиевых сплавов: литейные и деформируемые. Литейные сплавы применяют для изготовления литейных деталей путём отливки в земляные и металлические формы. Деформируемые сплавы применяют для изготовления листов, проволоки, фасонных профилей и производства различных деталей путёмковки, штамповки и прессования. Наиболее известные алюминиевые сплавы имеют марки: АЛ1, АЛ2, АЛ3, АЛ4, АЛ5, АЛ6, АЛ7, АЛ8, АЛ9, АЛ10, АЛ11, АЛ12. Большую группу литейных сплавов с основой алюминий-кремний составляют силумины (АЛ2, АЛ4), которые обладают жидкотекучестью и малой усадкой. Для получения плотной мелкозернистой структуры, а, следовательно, и повышенных механических свойств сплав АЛ2 подвергают модифицированию, т.е. обработке расплавленного силумина металлическим натрием или смесью фтористых солей натрия или калия в количестве 2 % (по массе) от массы расплавленного сплава, а сплав АЛ4 упрочняют термической обработкой.

Существуют алюминиевые сплавы с основой алюминий-магний (АЛ7, АЛ12). Сплав АЛ12 применяют без термической обработки, а детали из сплава АЛ7 подвергают термической обработке.

Силумин (АЛ2) - сплав алюминия с кремнием (10-13 %). Структура не модифицированного силумина АЛ2 состоит из  $\alpha$ -твёрдого раствора кремния в алюминии (основной светлый тон) и эвтектики  $\alpha + Si$  (тёмные участки) грубого строения, в которой кремний находится в виде крупных игл. Структура модифицированного силуми-

МО-15 02 06-ОП.04.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.46/51

на Ал12 мелкозернистая и состоит из первичных дендритов  $\alpha$  - твёрдого раствора (светлый тон) и мелкой (дисперсной) эвтектики  $\alpha + Si$  (тёмный тон).

Деформируемые алюминиевые сплавы разделяют на три группы: сплавы, не упрочняемые термической обработкой; сплавы дляковки и штамповки. К первой группе относятся сплавы алюминия с магнием и сплавы алюминия с марганцем (АМг, АМц). Они обладают высокой пластичностью, умеренной прочностью, повышенным сопротивлением коррозии и применяются для изготовления деталей методом высокой штамповки. Ко второй группе относятся сплавы под названием дюралюминовые (Д1, Д3, Д6, Д18 и т.д.). Основные компоненты этих сплавов - медь и магний, так как они при термической обработке увеличивают прочность сплава.

К третьей группе сплавов относятся сплавы АК2, АК6 легированные, кроме меди и магния дополнительно никелем, вводимым в небольшом количестве для увеличения вязкости и прочности. Эти сплавы применяют для изготовления поршней авиационных двигателей, лопастей винтов, картеров двигателей и т.д.

Магниевого сплавы представляют собой сплавы магния с алюминием, марганцем и цинком. Их хорошо применяют в промышленности как литейные сплавы (МЛ2, МЛ3, МЛ4, МЛ5, МЛ6), так и деформируемые сплавы (МА1, МА2, МА3, МА4, МА5). Из указанных литейных сплавов наибольшее распространение получил сплав МЛ5, обладающий лучшей жидкотекучестью. Сплав МЛ5 для улучшения механических свойств закаляют (температура нагрева до 415°C с последующим охлаждением в воздухе). Структура сплава после отливки в земляную форму состоит из зёрен тройного твёрдого раствора алюминия и цинка в магнии (светлый фон) и включений  $Mg_4Al_3$  по границам зёрен твёрдого раствора. После закалки структура сплава состоит из однородных зёрен тройного твёрдого раствора алюминия и цинка в магнии. Деформируемые магниевые сплавы имеют большую вязкость, пластичность и прочность, чем литейные сплавы и применяются для изготовления кованных и штампованных деталей. Для улучшения свойств магниевых сплавов в них вводят в небольших количествах бериллий, титан и другие элементы и подвергают термической обработке.

*Антифрикционные сплавы.* Для уменьшения трения вращающихся частей вкладыши подшипников изготавливают из специальных материалов, к которым предъявляют особые требования, основные из них следующие: небольшой коэффициент трения с материалом вращающегося вала; микрокапиллярность, т.е. способность удерживать смазку; достаточная прочность, износостойкость и коррозионная стой-

кость. В качестве подшипниковых сплавов в зависимости от скорости вращения и удельного давления вала применяют:

1. Баббиты (на оловянной или свинцовой основе) Б83, Б16, БК2 и др.

Основные компоненты в оловянистых баббитах - сурьма, медь и олово, а в свинцовистых - свинец, сурьма, олово и медь.

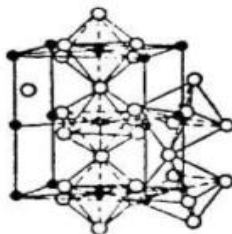
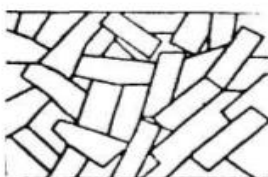
2. Бронзы (оловянистые БрОСЦ4-4-4, БрОФ6,5-1,5 и свинцовистые БрС-30) - в наиболее нагруженных подшипниках, испытывающие ударные нагрузки.

3. Антифрикционные серые чугуны АЧС-1, АЧВ-1 при больших удельных давлениях и скоростях (до 5 м/с). Пластичной основой в них является феррит, а твёрдые опорные включения – цементит и перлит, имеющиеся в чугуне графитовые включения образуют каналы, удерживающие смазку, и выполняют роль смазки.

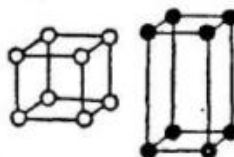
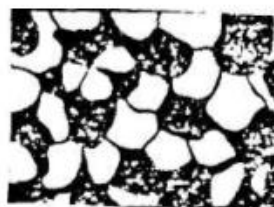
Структура баббитов представляет собой совокупность двух фаз и более, одна из которых (основа) всегда пластичная, вязкая, а другие твёрдые. Пластичная структура способна поглощать твёрдые частицы, попавшие на поверхность, предотвращая тем самым задиры трущихся поверхностей. Структура баббита Б83 имеет фазу – твёрдый раствор сурьмы в олове (тёмный цвет) и две другие фазы, представляющие собой химическое соединение  $\text{SnSb}$  (светлые кристаллы в виде кубиков или треугольников) и  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  (светлые мелкие кристаллы в виде звёздочек, точек, игл).

## ПРИРОДА СПЛАВОВ

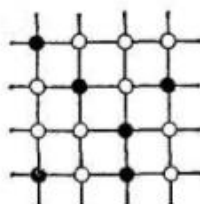
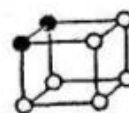
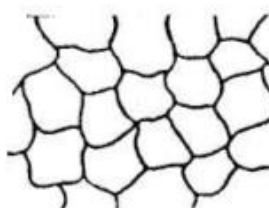
1. Сплав – химическое соединение (ХС). ХС образует новую кристаллическую решетку, новые свойства.  $\text{Fe}_3\text{C}$  – ЦЕМЕНТИТ (фаза твердая и хрупкая).



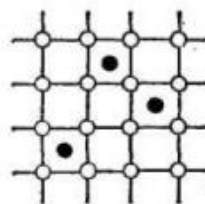
2. Сплав – механическая смесь (МС). МС – смесь зерен чистых компонентов. ПЕРЛИТ – МС феррита и цементита вторичного (фаза вязкая, пластичная и достаточно твердая).



3. Сплав – твердый раствор компонентов (ТР). 1 – растворитель; 2 - растворимое вещество. ФЕРРИТ – ТР С ( $a_{Fe}$ ); фаза вязкая и пластичная.



а) ТР замещения



6) ТР внедрения

# СПЛАВЫ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ



Литейные свойства: высокая жидкотекучесть, низкая ликвация, малая усадка.

Способы литья: формовка, литье по выплавляемым моделям, литье в оболочковые формы, кокильное литье, литье на машинах под давлением, центробежное литье.

Обработка металлов давлением основана на использовании пластических свойств



МО-15 02 06-ОП.04.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.49/51

металлов и сплавов (показатели:  $\sigma_T; \delta; \psi; HB; \sigma_b; KC$ ).

Способы обработки металлов давлением: прокатка, волочение, прессование, ковка, штамповка.

*Используемые источники:* [1]; [2]; [3].

*Порядок выполнения работы:*

1. Проверка знаний. Закрепление изучаемого материала. Структурная схема – процесс формирования свойств сплавов.

2. Планирование и структурирование. Подбор марки сплава для детали, определение свойств с учетом условий эксплуатации детали, процесс формирования свойств с учетом структуры сплава и его маркировки.

3.. Указать назначение, маркировку, объяснить свойства группы сплавов цветных металлов.(по карточкам)

*Выводы и предложения:*

В результате проделанной работы курсанты должны проанализировать свойства цветных металлов и сделать вывод о применении различных сплавов цветных металлов.

*Содержание отчета:*

Наименование практического занятия

Цель занятия

Отчет о выполнении всех пунктов из раздела «Содержание и порядок выполнения работы»

Список использованных источников

Выводы и предложения

Дата и подписи студента и преподавателя

*Вопросы для самопроверки:*

Вариант № 1

Что характеризует работу антифрикционных сплавов и при каких условиях работы можно применять следующие марки материалов: АЧВ-2, БрС30, Б83, Б16?

Вариант № 2

Опишите основные магниевые сплавы, применяемые в промышленности. Укажите их марки, свойства и область применения.

Вариант № 3

МО-15 02 06-ОП.04.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.50/51

Сравните физико-механические и технологические свойства латуней, используемых для трубчатых поверхностей теплообменных аппаратов. Обоснуйте их применение.

#### Вариант № 4

Укажите марки, химический состав и механические свойства латуней, используемых для трубчатых поверхностей теплообменных аппаратов. Обоснуйте их применение.

#### Вариант № 5

Опишите алюминиевые сплавы, применяемые для деталей, которые получают путем холодной листовой штамповки. Укажите их марки и свойства.

#### Вариант № 6

Укажите сущность и назначение порошковой металлургии. Опишите твердые сплавы, получаемые этим методом.

#### Вариант № 7

Назовите деформируемые сплавы алюминия. Укажите их марки, состав и область применения.

#### Вариант № 8

Опишите антифрикционные сплавы на основе олова и свинца. Укажите их марки, структуру, область применения.

#### Вариант № 9

Опишите алюминиевые сплавы, упрочняемые термической обработкой. укажите их марки, свойства и область применения.

МО-15 02 06-ОП.04.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	С.51/51

### Используемые источники литературы

Виды источников	Наименование рекомендуемых учебных изданий
<b>Основные</b>	<p>1. Черепяхин А. А. Материаловедение [Электронный ресурс] : учебник / А. А. Черепяхин, И. И. Колтунов, В. А. Кузнецов. - М. : КНОРУС, 2016.</p> <p>2. Чумаченко Ю. Т. Материаловедение и слесарное дело [Электронный ресурс] : учебник / Ю. Т. Чумаченко, Г. В. Чумаченко. - М. : КНОРУС, 2016.</p>
<b>Дополнительные</b> , в т.ч. курс лекций по учебной дисциплине, методические пособия и рекомендации для выполнения практических занятий и самостоятельных работ	<p>Колтунов В.В. Материаловедение (электронный ресурс) учебник. – М.: КноРус, 2016</p> <p>Плошкин В.В. Материаловедение (Электронный ресурс) учебник для СПО – 3-е издание исправленное и дополненное. – М.: Юрайт, 2017</p>
<b>Электронные образовательные ресурсы</b>	<p>1. ЭБС «Book.ru», <a href="https://www.book.ru">https://www.book.ru</a></p> <p>2. ЭБС « ЮРАЙТ» <a href="https://www.biblio-online.ru">https://www.biblio-online.ru</a></p> <p>3. ЭБС «Академия», <a href="https://www.academia-moscow.ru">https://www.academia-moscow.ru</a></p> <p>4. Издательство «Лань», <a href="https://e.lanbook.com">https://e.lanbook.com</a></p> <p>5. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн», <a href="https://www.biblioclub.ru">https://www.biblioclub.ru</a></p>
<b>Периодические издания</b>	<p>Вестник международной академии холода</p> <p>Эксплуатация морского транспорта</p> <p>Стандарты и качество</p>