

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
(ФГБОУ ВО «МГТУ»)

«ММРК имени И.И. Месяцева» ФГБОУ ВО «МГТУ»

УТВЕРЖДАЮ  
Начальник ММРК им. И.И. Месяцева  
ФГБОУ ВО «МГТУ»



И.В. Артеменко

(подпись)

«31» августа 2019 г.

## **МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ**

учебной дисциплины ОП.04 Материаловедение  
программы подготовки специалистов среднего звена (ППССЗ)  
специальности 26.02.06 Эксплуатация судового электрооборудования и  
средств автоматики  
по программе базовой подготовки  
форма обучения: очная, заочная

Мурманск  
2019

**Рассмотрено и одобрено на заседании**  
МК преподавателей дисциплин  
профессионального цикла  
специальностей отделения судовой  
энергетики

**Разработано**  
на основе ФГОС СПО по специальности  
26.02.06 Эксплуатация судового  
электрооборудования и средств автоматики

Председатель МК

В.И. Миронов

Протокол от «29» мая 2019 г.

Автор: Кумов М.Г., преподаватель «ММРК имени И.И. Месяцева» ФГБОУ ВПО «МГТУ»

## **А. Содержание**

А. Содержание.....	3
В. Лист ознакомления.....	4
С. Лист учета экземпляров.....	5
Д. Лист регистрации изменений.....	6
Пояснительная записка.....	7







## Пояснительная записка.

Методическое пособие по выполнению лабораторных работ и практических занятий дисциплины «Материаловедение» разработано в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом среднего профессионального образования по специальностям 26.02.06 Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики Приказа Министерства образования и науки РФ № 292 от 18 апреля 2013 г. «Об утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по основным программам профессионального обучения»; примерной программой по дисциплине «Материаловедение», Положением о рабочей программе учебной дисциплины и предназначена для реализации государственных требований к минимуму содержания и уровню подготовки выпускников по специальностям 26.02.05 Эксплуатация судовых энергетических установок.

Учебная дисциплина «Материаловедение» по специальности 26.02.06 Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики входит в состав общепрофессионального цикла рассчитана на 60 часов; из них: обязательная аудиторная учебная нагрузка 40 часов, в том числе практических занятий 6 часов.

В соответствии с государственными требованиями к минимуму содержания и уровню подготовки выпускников по специальностям среднего профессионального образования рабочая программа «Материаловедение» предусматривает следующие требования к их знаниям и умениям:

Обучающийся должен знать:

- строение и свойства конструкционных и эксплуатационных материалов, применяемых при ремонте, эксплуатации и техническом обслуживании;
- сущность явлений, происходящих в материалах в условиях эксплуатации изделия;
- современные способы получения материалов и изделий из них с заданным уровнем эксплуатационных свойств, сварочное производство, технологические процессы обработки.

Обучающийся должен уметь:

- анализировать структуру и свойства материалов;
- давать характеристику сплавам.

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен **уметь**:

В результате освоения дисциплины «Материаловедение» техник-электромеханик должен обладать общими компетенциями, включающими в себя способность:

ОК 1. Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.

ОК 2. Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.

ОК 3. Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.

ОК 4. Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

ОК 5. Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.

ОК 6. Работать в коллективе и в команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями.

ОК 7. Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), результат выполнения заданий.

ОК 8. Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.

ОК 9. Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности.

ОК 10. Владеть письменной и устной коммуникацией на государственном и иностранном языке.

Техник- электромеханик должен обладать профессиональными компетенциями, соответствующими основным видам профессиональной деятельности:

ПК 1.1. Обеспечивать оптимальный режим работы электрооборудования и средств автоматики с учетом их функционального назначения, технических характеристик и правил эксплуатации

ПК 1.2. Измерять и настраивать электрические цепи и электронные узлы

ПК 1.3. Выполнять работы по регламентному обслуживанию электрооборудования и средств автоматики

ПК 1.4. Выполнять диагностирование, техническое обслуживание и ремонт судового электрооборудования и средств автоматики

ПК 1.5. Осуществлять эксплуатацию судовых технических средств в соответствии с установленными правилами и процедурами, обеспечивающими безопасность операций и отсутствие загрязнения окружающей среды

ПК 3.1. Организовывать мероприятия по обеспечению транспортной безопасности

ПК 3.2. Применять средства по борьбе за живучесть судна

ПК 3.3. Организовывать и обеспечивать действия подчиненных членов экипажа судна при организации учебных пожарных тревог, предупреждения возникновения пожара и при тушении пожара

ПК 3.4. Организовывать и обеспечивать действия подчиненных членов экипажа судна при авариях

ПК 3.5. Оказывать первую медицинскую помощь пострадавшим

ПК 3.6. Организовывать и обеспечивать действия подчиненных членов экипажа судна при оставлении судна, использовать спасательные шлюпки, спасательные плоты и иные спасательные средства

ПК 3.7. Организовывать и обеспечивать действия подчиненных членов экипажа судна по предупреждению и предотвращению загрязнения водной среды

Рабочей программой дисциплины предусмотрено проведение 3 практических работ. Целью проведения практических работ является закрепление теоретических знаний и приобретение необходимых практических навыков и умений по отдельным темам курса. Наряду с формированием умений и навыков в процессе практических занятий обобщаются, систематизируются, углубляются и конкретизируются теоретические знания, вырабатывается способность и готовность использовать теоретические знания на практике, развиваются интеллектуальные умения, формируются общие и профессиональные компетенции.

Перед проведением практических занятий обучающиеся обязаны проработать соответствующий материал, уяснить цель занятия, ознакомиться с содержанием и последовательностью его проведения, а преподаватель - проверить их знания и готовность к выполнению задания.

Текст работ обучающиеся должны писать пастой синего или черного цвета понятным почерком. Схемы, эскизы, таблицы должны выполняться только карандашом и только с помощью чертежных инструментов.

После каждой работы проводится зачет, как правило, на следующем занятии перед выполнением последующей работы. На зачете курсант должен: знать теорию по данной теме; пояснить, как проводится исследование; уметь проанализировать полученные результаты (в соответствии с основными требованиями к знаниям и умениям по данной теме рабочей программы).



**Перечень практических занятий  
специальности 26.02.06 Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики**

№ п/п темы	Наименование темы	Коды ОК, ПК	Наименование лабораторной работы и практического занятия	Кол-во часов
1	2	3	4	5
Тема 1.3.	Диаграммы состояния металлов и сплавов.	ОК 1–3, ПК 1.3, 1.4	Практическое занятие № 1. Изучение диаграмм состояния двухкомпонентных систем.	2
Тема 2.1.	Конструкционные материалы	ОК 3–6, ПК 1.3, 1.4	Практическое занятие № 3. Изучение микроструктуры и свойств углеродистых сталей.	2
Тема 2.2.	Износостойкие и антифрикционные материалы.	ОК 3–6, ПК 1.3, 1.4	Практическое занятие № 6. Изучение микроструктуры и свойств антифрикционных сплавов.	2
<b>ИТОГО</b>				<b>6</b>

## Практическое занятие № 1

**Тема практического занятия: Изучение диаграмм состояния двухкомпонентных систем.**

### **Цель занятия:**

1. Ознакомиться с методикой построения диаграмм состояния двухкомпонентных сплавов.
2. Изучить изменение свойств сплавов в зависимости от изменения концентрации компонентов для основных типов диаграмм состояния.

### **Оборудование:**

1. Плакаты диаграмм.
2. Линейка, карандаш.

### **Содержание и порядок выполнения**

#### **Понятие о диаграммах состояния**

Основными конструкционными материалами являются металлические сплавы - вещества, полученные сплавлением двух или более элементов (компонентов).

К основным понятиям в теории сплавов относятся: система, компонент, фаза.

Система - группа тел, выделяемых для наблюдения и изучения. В металловедении системами являются металлы и металлические сплавы. Чистый металл является простой (однокомпонентной) системой.

Компонентами называют вещества, образующие систему (сплав).

В металлических сплавах компонентами могут быть элементы (металлы и неметаллы) и химические соединения (не диссоциирующие при нагревании).

Фазой называется однородная часть системы, отделенная от другой части системы (фазы) поверхностью раздела, при переходе через которую химический состав или структура вещества изменяется скачком.

Следовательно, однородная жидкость является однофазной системой, а механическая смесь двух видов кристаллов - двухфазной, т.к. каждый кристалл отличается от другого по составу или по строению и они отделены один от другого поверхностью раздела.

В твердых сплавах фазами могут быть зерна чистого металла, зерна твердого раствора или зерна химического соединения.

Механическая смесь двух компонентов А и В образуется тогда, когда они не способны к взаимному растворению в твердом состоянии и не вступают в химическую реакцию с образованием соединения. При этих условиях сплав будет состоять из кристаллов А и В, отчетливо выявляемых на микроструктуре. Рентгенограмма сплава покажет наличие двух решеток компонентов А и В.

Твердыми растворами называют такие твердые фазы, в которых соотношения между компонентами могут изменяться. Рентгеновский анализ обнаруживает в твердом растворе, как и у чистого металла, только один тип решетки. Следовательно, в отличие от механической смеси твердый раствор является однофазным, состоит из одного вида кристаллов, имеет одну кристаллическую решетку; в отличие от химического соединения твердый раствор существует не при определенном соотношении компонентов, а в интервале концентраций.

В твердом растворе одно из входящих в состав сплава веществ сохраняет присущую ему кристаллическую решетку, а второе вещество, утратив свое кристаллическое строение, в виде отдельных атомов распределяется в кристаллической решетке первого. Первое вещество является растворителем, второе - растворимым.

В зависимости от характера распределения атомов растворимого элемента различают твердые растворы внедрения, замещения и вычитания. Независимо от типа твердого раствора общим для них является то, что они однофазны и существуют в интервале концентраций. Для твердых растворов характерен металлический тип связи.

В твердых растворах внедрения атомы растворимого элемента распределяются в кристаллической решетке металла-растворителя, занимая места между его атомами.

В твердых растворах замещения атомы растворимого элемента занимают места атомов основного металла. Посторонние атомы могут замещать атомы растворителя в любых местах, поэтому такие растворы называют неупорядоченными твердыми растворами. Твердые растворы замещения могут быть ограниченными и неограниченными. Одно из условий неограниченной растворимости - размерный фактор: чем больше различие в атомных радиусах, тем меньше растворимость. Неограниченная растворимость компонентов присуща системам, в которых атомные радиусы элементов различаются не более чем на 8-15 %. С понижением температуры в твердых растворах замещения может произойти процесс перераспределения атомов, в результате которого атомы растворенного элемента займут строго определенные места в решетке растворителя. Такие твердые растворы называют упорядоченными твердыми растворами, а их структуру - сверхструктурой. Температуру перехода неупорядоченного состояния в упорядоченное называют точкой Курнакова.

Твердые растворы вычитания образуются на основе некоторых химических соединений, когда к химическому соединению добавляется один из входящих в его формулу элементов. Атомы этого элемента занимают нормальное положение в решетке соединения, а места, где должны были бы находиться атомы второго компонента, оказываются незаполненными, пустыми (поэтому эти растворы иногда называют растворами с дефектной решеткой).

Образование любого типа твердых растворов сопровождается изменением параметров решетки и металла-растворителя. Это важный момент, определяющий изменение свойств твердого раствора.

Химическое соединение чаще всего образуется между элементами, расположенными далеко друг от друга в таблице Л.И. Менделеева, т.е. существенно различающимися по строению и свойствам, если сила взаимодействия между разнородными атомами больше, чем между атомами однородными.

Химические соединения имеют ряд особенностей, отличающих их от твердых растворов:

- а) соотношение чисел атомов элементов, образующих соединение, строго определенное, соответствующее стехиометрической пропорции, выраженной формулой вида  $A_nB_m$ ;
- б) они имеют свою кристаллическую решетку, отличную от решеток элементов, образовавших это соединение, с правильным упорядоченным расположением атомов компонентов в кристаллической решетке;
- в) свойства соединения заметно отличаются от свойств исходных элементов;
- г) как и чистые металлы, они имеют постоянную температуру плавления (диссоциации). Как правило, химические соединения обладают большой твердостью и очень хрупки.

Диаграмма состояния - это графическое изображение состояния любого сплава изучаемой системы в зависимости от его концентрации и температуры.

Диаграммы состояния показывают равновесные, стойкие состояния т.е. такие, которые при данных условиях обладают минимальной свободной энергией. Они имеют большое теоретическое и практическое значение, т.к. изучение любого сплава начинается с построения и анализа диаграммы состояния с целью изучения фаз и структурных составляющих сплава.

С помощью диаграммы состояния можно установить возможность проведения термической обработки и ее режимы, температуры литья, горячей пластической деформации и т.д.

В любой системе число фаз, находящихся в равновесии, зависит от внутренних и внешних условий, закономерности всех изменений, происходящих в системе, подчиняют систему закону равновесия, который называется правилом фаз или законом Гиббса, который выражает зависимость между числом степеней свободы  $S$  (вариантностью) системы, числом компонентов  $K$  и числом фаз системы  $\Phi$ , находящихся в равновесии.

Правило фаз записывают в виде:  $S = K - \Phi + 1$  (при постоянном атмосферном давлении).

Под числом степеней свободы (вариантностью) системы понимают число внешних и внутренних факторов (температура, давление и концентрация), которое можно изменять без изменения числа фаз в системе.

Построение диаграммы состояния осуществляют различными экспериментальными методами. Чаще всего используют метод термического анализа, сущность которого заключается в отборе

нескольких сплавов данной системы с различным соотношением масс входящих в них компонентов. Сплавы помещают в огнеупорные тигли и нагревают в печи. После расплавления сплавов тигли со сплавами медленно охлаждают и фиксируют скорость охлаждения. По полученным данным строят кривые охлаждения в координатах время - температура. В результате измерений получают серию кривых охлаждения, на которых при температурах фазовых превращений наблюдаются точки перегиба и температурные остановки.

Температуры, соответствующие фазовым превращениям, называются критическими точками.

Точки, отвечающие началу кристаллизации, называются точками ликвидус (жидкий), а конца кристаллизации точками солидус (твердый).

По полученным кривым охлаждения (критическим точкам) для различных сплавов изучаемой системы строят диаграмму состояния в координатах: по оси абсцисс - концентрация компонентов, по оси ординат - температура.

### **Задания:**

1. Изучить теоретические сведения о строении металлических сплавов.
2. Усвоить методику экспериментального построения диаграмм состояния сплавов.
3. Научиться практическому использованию правила фаз и правила отрезков.
4. Изучить связь между свойствами сплавов и типом диаграмм

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Что такое сплав, компонент, фаза, система сплавов, диаграмма?
2. Основные типы сплавов, образуемые при взаимодействии компонентов.
3. Основные типы диаграмм равновесного состояния.
4. Правило фаз и правило отрезков.
5. Что называется критическими точками?
6. Основные методы построения диаграммы состояния.
7. Принцип построения кривых охлаждения и диаграмм состояния систем сплавов.
8. Что такое ликвидус, солидус?
9. Дать определение эвтектики и эвтектической реакции.
10. Дать определение эвтектическому, доэвтектическому и заэвтектическому сплавам.
11. Особенности кристаллизации эвтектического сплава и сплава твердого раствора.
12. Построение кривых охлаждения с применением имеющейся диаграммы и правил отрезков и фаз.

## Практическое занятие № 2

**Тема практического занятия:** Изучение микроструктуры и свойств углеродистых сталей.

### Цель занятия:

1. Изучить устройство металломикроскопа и приобрести навыки в работе с ним.
2. Изучить схемы микроструктур углеродистых сталей в равновесном состоянии.

### Оборудование:

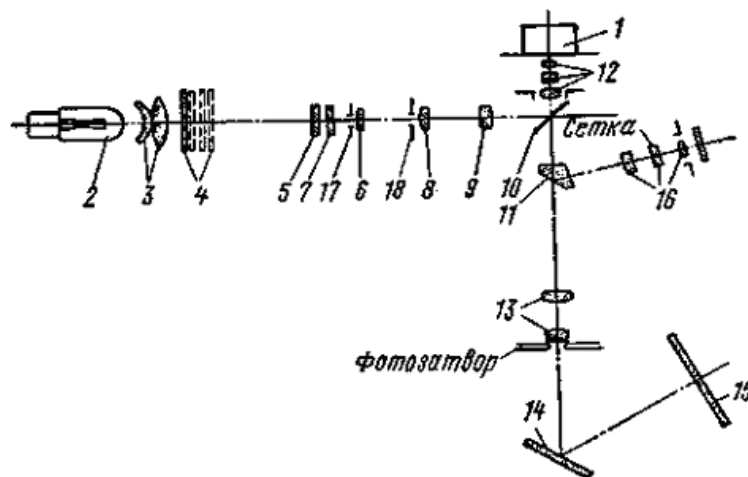
1. Металлографический микроскопом МИМ-6.
2. Комплект микрошлифов сталей.
3. Линейка, карандаш.

### Содержание и порядок выполнения

#### Металломикроскоп.

Для исследования микроструктуры металлов и сплавов применяют металлографический микроскопы.

Лучи от источника света 2, пройдя через коллектор 3, светофильтры 4, полуматовую пластинку 7, апертурную диафрагму 17, линзы 6, 8, 9 и полевую диафрагму 18, отражаются от пластины 10 и через объектив 12 попадают на шлиф 1. Отразившись от поверхности шлифа, лучи света вновь проходят через объектив 12 и с помощью отражательной призмы 11 направляются в окуляр 16, попадая таким образом в глаз наблюдателя.



*Схема хода лучей в металлографическом микроскопе МИМ-6*

Для перевода изображения на фотокамеру нужно с помощью рычага отодвинуть отражательную призму 11 и открыть фотозатвор, при этом лучи проходят через фотоокуляр 13 и, отражаясь от зеркала 14, попадают на матовое стекло фотокамеры 15, вместо которого можно вставить подготовленную к съемке кассету.

#### Микроанализ сталей

Микроанализ – это исследование металлов и сплавов на специальных образцах (микрошлифах) с помощью металлографических микроскопов при увеличениях до 2000 раз.

Микроанализ применяют для выявления структурных составляющих и изменений внутреннего строения сплавов, происходящих под влиянием различных режимов термической или химико-термической обработки, а также после внешнего механического воздействия на сплав.

#### Приготовление микрошлифов

Образцы вырезают из того места, которое является наиболее важным в эксплуатационных условиях исследуемого металла или детали.

Одну из плоскостей образца обрабатывают напильником или на абразивном круге, затем эту же плоскость шлифуют и полируют, применяя различные номера шлифовальной шкурки и полирующих смесей.

Полированный шлиф подвергают травлению определенным химическим реактивом для выявления микроструктуры сплава. Для железо-углеродистых сплавов применяют 4%-ный раствор азотной кислоты в этиловом спирте.

Травление поверхности производится до ее потускнения, пока поверхность не примет слегка матовый оттенок без каких либо пятен. При рассмотрении под микроскопом такой поверхности элементы структуры четко заметны.

Для сталей характерно существование однофазных и двухфазных структур.

Однофазные структуры

1. Феррит – твердый раствор углерода в альфа-железе, имеет объемноцентрированную кубическую решетку, обладает высокой пластичностью (50%), ферромагнитен до температуры 768°. Твердость 60-100НВ.

2. Аустенит – твердый раствор углерода в гамма-железе, имеет гранецентрированную кубическую решетку, обладает высокой пластичностью, немагнитен. Твердость 160-220НВ.

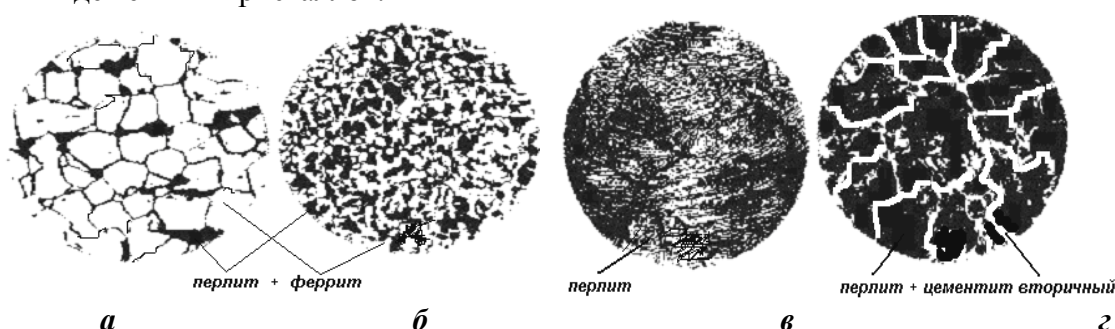
3. Цементит – химическое соединение железа с углеродом (карбид железа), имеет сложную орторомбическую решетку, обладает высокой твердостью 800НВ, большой хрупкостью и нулевой пластичностью, немагнитен выше 210°. Имеет три разновидности: первичный – выделившийся из жидкого сплава, вторичный – выделившийся из аустенита и третичный – выделившийся из феррита.

Двухфазные структуры

Перлит – эвтектоид, механическая смесь феррита и цементита, образующаяся при температуре 727°C в результате распада аустенита, содержит 0,8% углерода. Различают пластинчатый перлит, представляющий собой параллельное чередование пластинок цементита и феррита, и зернистый – когда округлые зерна цементита равномерно распределены в поле феррита. Твердость 160-250НВ.

### Микроструктуры углеродистых сталей

Стали с содержанием углерода от 0,02 % до 0,8 % называются доэвтектоидными. Микроструктура состоит из феррита и перлита. С увеличением содержания углерода количество феррита уменьшается, а перлита увеличивается. На *рисунке 1(а, б)* показаны микроструктуры доэвтектоидных сталей, содержащие 0,1% и 0,4% углерода соответственно. После травления в 4%-ном растворе азотной кислоты в этиловом спирте феррит выделяется в виде светлых, а перлит – в виде темных кристаллов.



**Рисунок 1. доэвтектоидная сталь 0,1% углерода (а), 0,4% углерода (б)  
эвтектоидная сталь 0,8% углерода (в), заэвтектоидная сталь 1,2% углерода (г).**

Сталь с содержанием 0,8% углерода называется эвтектоидной. Микроструктура состоит из перлита. С увеличением содержания углерода количество феррита уменьшается, а перлита увеличивается. На *рисунке 1(в)* показана микроструктура эвтектоидной стали. После травления в 4%-ном растворе азотной кислоты в этиловом спирте поверхность шлифа имеет перламутровый отлив.

Стали с содержанием углерода свыше 0,8 % называются заэвтектоидными. Микроструктура состоит из перлита и вторичного цементита, который выделяется в виде сетки, зерен или игл. С увеличением содержания углерода количество цементита увеличивается. На *рисунке 1(г)*

показана микроструктура заэвтектоидной стали с содержанием 1,2% углерода. После травления в 4%-ном растворе азотной кислоты в этиловом спирте цементит выделяется в виде сетки располагающейся по границам зерен перлита.

### **Задания:**

1. Изучить устройство микроскопа МИМ – 6.
2. Дать описание схемы хода лучей в металлографическом микроскопе МИМ-6.
2. Дать определение, какой сплав называется сталью.
3. Дать характеристику структурных составляющих сталей.
4. Зарисовать схемы микроструктур исследуемых сталей.
5. Описать свойства и применение исследуемых марок сталей.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Что такое сталь?
2. Как классифицируется сталь по составу и структуре, по качеству, по назначению?
3. Дать определение всем структурным составляющим железоуглеродистых сплавов.
4. Каковы основные критические точки у сталей?
5. Как маркируются стали?
6. Какие элементы в составе стали кроме Fe и C являются постоянными?
7. Какие элементы в составе стали являются вредными?
8. Каково назначение доэвтектоидных сталей?
9. Каково назначение заэвтектоидных сталей?
10. Какие изделия изготавливаются из эвтектоидной стали?

## Практическое занятие № 3

**Тема практического занятия: Изучение микроструктуры и свойств антифрикционных сплавов**

### Цель занятия

1. Изучить свойства и область использования подшипниковых сплавов.
2. Изучить микроструктуры баббитов (оловянного и свинцового).

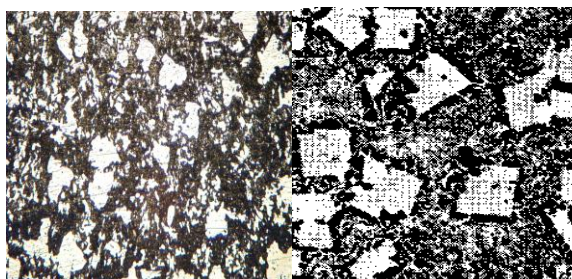
### Оборудование

1. Металлографический микроскопом МИМ-6.
2. Комплект микрошлифов.

### Содержание и порядок выполнения

Баббиты - антифрикционные сплавы на оловянной или свинцовистой основе. Оловянные баббиты используют в подшипниках турбин крупных судовых дизелей, турбонасосов, турбокомпрессоров, электрических и других тяжелонагруженных машин. Гетерогенная структура (мягкая пластичная основа и включения более твердых частиц) обеспечивает малый коэффициент трения, удержание смазки (в капиллярных порах) и высокую износостойкость (твердые частицы). Марки оловянистых баббитов - Б83, Б88. Б83 – содержит: медь-5,5%, сурьму-10-12%, остальное олово.

Цифра в марке баббита указывает на содержание олова. Мягкая основа баббита –  $\alpha$ -твердый раствор сурьмы в олове, а твердые кристаллы  $\beta$ -фазы - твердый раствор на основе химического соединения  $\text{SnSb}$ . Медь вводят для уменьшения ликвации. Она образует с сурьмой химическое соединение  $\text{Cu}_3\text{Sn}$ . Это соединение имеет более высокую температуру плавления и кристаллизуется первым, образуя разветвленные дендриты, которые препятствуют ликвации кубических кристаллов  $\beta$  ( $\text{SnSb}$ ). Кроме того, кристаллы  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  образуют в баббите твердые включения, дополнительно повышающие износостойкость вкладышей.



*а) б)*

*а – микроструктура после травления антифрикционного слоя вкладыша подшипника, баббит Б83; б – микроструктура баббита Б16*

Выше приведена микроструктура баббита Б83. Темное поле представляет собой пластичную массу  $\alpha$ -твердого раствора сурьмы в олове, светлые кристаллы квадратной формы являются соединением  $\text{SnSb}$  ( $\beta$ ), а кристаллы в виде звездочек или удлинённых игл - соединением  $\text{Cu}_3\text{Sn}$ .

Свинцовые баббиты применяют для менее нагруженных подшипников. Свинцовооловянные сплавы Б16, БН, БС6 имеют структуру, состоящую из твердого раствора  $\alpha$  —  $\text{Sn}$ ,  $\text{Sb}$  и  $\text{Cu}$  в свинце (мягкая составляющая) и твердых частиц  $\beta$  ( $\text{SnSb}$ ),  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  и  $\text{Cu}_2\text{Sb}$ .

Антифрикционные и механические свойства баббитов повышаются при введении в их состав никеля, кадмия и мышьяка. Никель упрочняет  $\alpha$ -раствор. Кадмий с мышьяком (сплав БН) образуют соединения  $\text{AsCd}$ , которые служат зародышами для формирования соединения  $\text{SnSb}$  ( $\beta$ -фазы). Некоторое применение нашёл сплав свинца с сурьмой и небольшими добавками меди (БС). Структура сплава состоит из эвтектики  $\alpha$  (твердый раствор  $\text{Sb}$  в  $\text{Pb}$ ) +  $\beta$  (твердый раствор  $\text{Pb}$  в  $\text{Sb}$ ), первичных кристаллов  $\beta$  и соединения  $\text{Cu}_2\text{Sb}$ , играющих роль твердой составляющей.



Баббиты, имея небольшую прочность ( $\sigma_B = 6 - 12 \text{ кгс/мм}^2$ , НВ 20 — 30), могут применяться только в подшипниках, имеющих прочный стальной (чугунный) или бронзовый корпус. Тонкостенные подшипниковые вкладыши автомобильных двигателей изготавливают штамповкой из биметаллической ленты, полученной на линии непрерывной заливки. Подшипники большого диаметра заливают индивидуально стационарным или центробежным способом, а также литьем под давлением.

Основные требования, предъявляемые к антифрикционным сплавам, определяются условиями работы вкладыша подшипника. Эти сплавы должны иметь достаточную твердость, но не очень высокую, чтобы не вызвать сильного износа вала; сравнительно легко деформироваться под влиянием местных напряжений, т. е. быть пластичными; удерживать смазку на поверхности; иметь малый коэффициент трения между валом и подшипником.

Кроме того, температура плавления этих сплавов не должна быть высокой, и сплавы должны обладать хорошей теплопроводностью и устойчивостью против коррозии.

Для обеспечения этих свойств структура антифрикционных сплавов должна быть гетерогенной, состоящей из мягкой и пластичной основы и включений более твердых частиц. При вращении вал опирается на твердые частицы, обеспечивающие износостойкость, а основная масса, истирающаяся более быстро, прирабатывается к валу и образует сеть микроскопических каналов, по которым циркулирует смазка и уносятся продукты износа.

Наиболее широко применяются сплавы на оловянной и свинцовой основе (баббиты), сплавы на цинковой и алюминиевой основе, а также медносвинцовые сплавы.

Баббиты являются широко распространенными антифрикционными сплавами, обладающими высокой износостойкостью, низким коэффициентом трения, мало изнашивающими вал и хорошо прирабатывающимися к валу. Они обладают способностью впитывать продукты износа. Главным недостатком баббитов является их низкая усталостная прочность.

#### **Перечень используемых источников**

1. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. М.; Металлургия
2. Блинов И.С. Справочник технолога судоремонтного завода. — М.: Транспорт.