

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Норильский государственный индустриальный институт»  
Политехнический колледж

Документ подписан электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Блинова Светлана Павловна  
Должность: Заместитель директора по учебно-воспитательной работе  
Дата подписания: 29.03.2020 16:02:52  
Уникальный программный ключ:  
1caf4e102a27ce11a89a2a7ceb20237f3ab5c65

**Методические указания для самостоятельных работ  
для обучающихся на очном отделении  
по дисциплине  
ОП.05 Материаловедение**

для специальности

13.02.01 Тепловые электрические станции

Методические указания для обучающихся на очном отделении по учебной дисциплине «Материаловедение» разработана на основе Федерального государственного образовательного стандарта (ФГОС СПО) по специальности:

13.02.01 Тепловые электрические станции

Организация-разработчик: Политехнический колледж ФГБОУ ВО «Норильский государственный индустриальный институт»

Разработчик: Шевчук Светлана Владимировна, преподаватель

Рассмотрена на заседании предметно-цикловой комиссии общетехнических дисциплин и автомобильного транспорта

Председатель комиссии \_\_\_\_\_ Суслов Е.Е.

Утверждена методическим советом Политехнического колледжа ФГБОУ ВО «Норильский государственный индустриальный институт»

Протокол заседания методического совета № \_\_\_\_ от «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Зам. директора по УР \_\_\_\_\_ Блинова С.П.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Методические указания по дисциплине «Материаловедение» разработаны для обучающихся заочной формы обучения специальности 13.02.01 Тепловые электрические станции в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом по специальности, а также с рабочей программой дисциплины «Материаловедение».

Учебная дисциплина "Материаловедение" является общепрофессиональной, устанавливающей базовые знания для получения профессиональных знаний и умений.

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

– определять свойства и классифицировать конструкционные и сырьевые материалы, применяемые в производстве, по маркировке, внешнему виду, происхождению, свойствам, составу, назначению и способу приготовления;

– определять твердость материалов;

– определять режимы отжига, закалки и отпуска стали;

– подбирать конструкционные материалы по их назначению и условиям эксплуатации;

– подбирать способы и режимы обработки металлов (литьем, давлением, сваркой, резанием) для изготовления различных деталей.

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

– виды механической, химической и термической обработки металлов и сплавов;

– виды прокладочных и уплотнительных материалов;

– закономерности процессов кристаллизации и структурообразования металлов и сплавов, защиты от коррозии;

– классификацию, основные виды, маркировку, область применения и виды обработки конструкционных материалов, основные сведения об их назначении и свойствах, принципы их выбора для применения в производстве;

– методы измерения параметров и определения свойств материалов;

– основные сведения о кристаллизации и структуре расплавов;

– основные сведения о назначении и свойствах металлов и сплавов, о технологии их производства;

– основные свойства полимеров и их использование;

– особенности строения металлов и сплавов;

– свойства смазочных и абразивных материалов;

– способы получения композиционных материалов;

– сущность технологических процессов литья, сварки, обработки металлов давлением и резанием.

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся 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 7. Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), за 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.

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен обладать профессиональными компетенциями, включающими в себя способность:

ПК 3.1. Планировать и обеспечивать подготовительные работы по ремонту теплоэнергетического оборудования.

ПК 3.2. Определять причины неисправностей и отказов работы теплоэнергетического оборудования.

ПК 3.3. Проводить ремонтные работы и контролировать качество их выполнения.

Учебная дисциплина «Материаловедение» базируется на знаниях и умениях, полученных при изучении дисциплин «Химия», «Физика», «Инженерная графика». В ней рассматриваются: структура, строение и свойства материалов, области применения материалов, выбор материалов.

Освоение учебной дисциплины предполагает осмысление ее разделов и тем на практических занятиях, в процессе которых обучающийся должен закрепить и углубить теоретические знания, приобрести необходимые умения.

# 1 Программа курса и общие методические указания

## Тематический план

| Номера разделов и тем | Наименование разделов и тем   |
|-----------------------|---|
| Введение              |   |
| <b>Раздел 1</b>       | <b>Основы материаловедения</b>  |
| Тема 1.1              | Строение, свойства и способы испытания металлов   |
| Тема 1.2              | Испытания металлов  |
| Тема 1.3              | Основные положения теории сплавов   |
| Тема 1.4              | Термическая и химико-термическая обработка металлов                                       |
| <b>Раздел 2</b>       | <b>Материалы, применяемые в машиностроении</b>  |
| Тема 2.1              | Углеродистые стали  |
| Тема 2.2              | Чугуны  |
| Тема 2.3              | Легированные стали  |
| Тема 2.4              | Порошковые материалы  |
| Тема 2.5              | Сплавы цветных металлов   |
| Тема 2.6              | Композиционные материалы  |
| Тема 2.7              | Неметаллические материалы   |
| Тема 2.8              | Коррозия металлов и меры борьбы с ней   |
| <b>Раздел 3</b>       | <b>Литейное производство</b>  |
| Тема 3.1              | Изготовление отливок в песчаных формах. Специальные формы литья                           |
| <b>Раздел 4.</b>      | <b>Обработка металлов давлением</b>   |
| Тема 4.1.             | Прокатка, прессование, волочение. Ковка и штамповка                                       |
| <b>Раздел 5.</b>      | <b>Сварка, резка, пайка и наплавка металлов</b>   |
| Тема 5.1.             | Общие сведения о сварке. Электродуговая сварка. Электроконтактная сварка. Пайка металлов. |
| Тема 5.2.             | Газовая сварка и резка  |
| Тема 5.3              | Прочие способы сварки. Пайка металлов   |
| Тема 5.4              | Восстановление и упрочнение деталей наплавкой   |
| <b>Раздел 6</b>       | <b>Обработка металлов резанием</b>  |
| Тема 6.1              | Элементы резания металлов и геометрия резцов  |
| Тема 6.2              | Понятие о режимах резания. Классификация металлорежущих станков                           |
| Тема 6.3              | Станки токарной группы. Сверлильные и расточные станки                                    |
| Тема 6.4              | Фрезерование и шлифование   |
| Тема 6.5              | Строгальные, долбежные и протяжные станки   |

## **ВВЕДЕНИЕ**

Обучающийся должен:

*иметь представление:*

- о содержании дисциплины «Материаловедение»;
- об истории развития материаловедения;
- о значении и месте дисциплины в подготовке специалиста-техника.

Значение и содержание учебной дисциплины «Материаловедение» и связь ее с другими дисциплинами общепрофессионального и специального циклов дисциплин. Значение материаловедения в решении важнейших технических проблем. Новейшие достижения и перспективы развития в области материаловедения.

### **Методические указания**

Приступая к изучению данной дисциплины, обучающийся должен знать сущность и содержание дисциплины «Материаловедение». Материаловедение представляет комплексную дисциплину о свойствах, способах обработки и применении различных металлов, сплавов и конструкционных материалов.

Уяснив сущность и содержание предмета, нетрудно понять его значение и связь с другими предметами. Обучающийся должен ознакомиться с кратким обзором развития и достижений в металлообрабатывающей промышленности, в производстве материалов.

Материаловедение является одной из первых инженерных дисциплин, основы которой широко используются при курсовом и дипломном проектировании.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Что изучает материаловедение?
2. Сколько металлов и сплавов используют в промышленности в настоящее время?
3. На какие группы подразделяются конструкционные материалы по признакам их свойств и структуры?
4. Что является важнейшим промышленным металлом?
5. Перечислите материалы металлургических процессов?

*Литература:* [1, с. 3 – 16]; [3, с. 4 – 6]

## **Раздел 1 Основы материаловедения**

### **Тема 1.1 Строение, свойства металлов**

Обучающийся должен:

*знать:*

- о дефектах кристаллического строения;
- о фазовом составе сталей и сплавов;
- кристаллическое строение металлов;
- типы кристаллических решеток;
- особенности структуры;

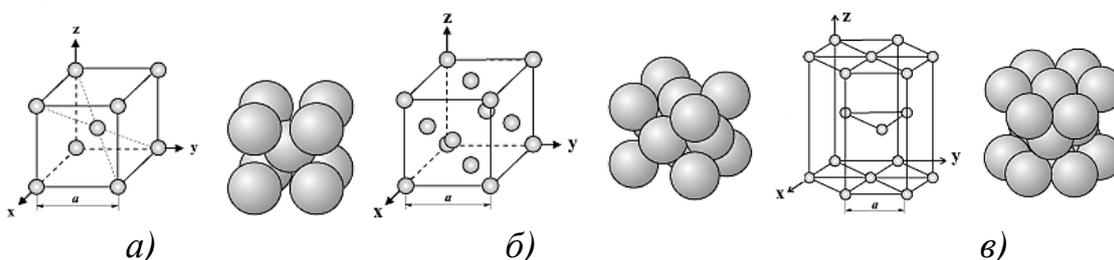
Элементы кристаллографии: кристаллическая решетка, анизотропия; дефекты кристаллических решеток, влияние типа связи на структуру и свойства кристаллов; свойства металлов и сплавов, методы испытания металлов.

### Методические указания

Рассмотрите типы химической связи в твердых телах.

Вещества в твердом состоянии имеют кристаллическое или аморфное строение. В аморфных веществах (янтаре, смолах, битумах, кварцевом стекле) атомы расположены беспорядочно, при нагревании аморфные вещества размягчаются и переходят в жидкое состояние в широком интервале температур. Металлические тела характеризуются кристаллическим строением. Эти вещества при нагреве остаются в твердом состоянии и переходят в жидкое при определенной температуре.

Рассмотрите типы кристаллических решеток. Наиболее часто встречаются решетки: кубическая объемно – центрированная, кубическая гранецентрированная и гексагональная плотноупакованная в соответствии с рисунком 1.1.



а – кубическая объемно-центрированная; б – кубическая гранецентрированная;

в – гексагональная плотноупакованная

Рисунок 1.1 – Виды кристаллических решеток

Однако свойства реальных кристаллов определяются известными несовершенствами кристаллического строения. В связи с этим необходимо разобраться в видах несовершенств (дефектов) и влияния на механические свойства. Точечными, нуль – мерными (по протяженности), дефектами являются пустые узлы, или вакансии (рисунок 1.2, а) и межузельные атомы (рисунок 1.2, б); важнейшими линейными (одномерными) дефектами являются дислокации (*краевые и винтовые*), представляющие как бы сдвиг части кристаллической решетки (смотри линию *ММ* на рисунке 1.2, в), по-

верхностные (двухмерные) дефекты определяются наличием субзерен или блоков 1, 2 внутри кристалла (рисунок 1.2, з), а также различной ориентацией кристаллических решеток зерен 3, 4 (рисунок 1.2, д). По границам зерен решетка одного кристалла переходит в решетку другого, здесь нарушена симметрия расположения атомов.

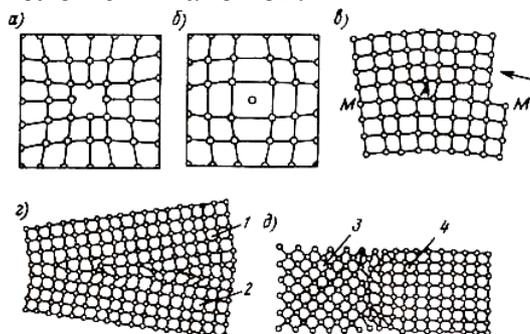


Рисунок 1.2 – Дефекты кристаллических решеток

Изучите явление анизотропности. В отдельно взятом кристалле свойства различны в разных направлениях. Если взять большой кристалл (существуют методы выращивания крупных кристаллов), вырезать из него несколько одинаковых по размеру, но различно ориентированных образцов и испытать их свойства, то можно иногда наблюдать значительную разницу в свойствах отдельных образцов. Например, при испытании различных образцов из кристалла меди относительное удлинение изменяется от 10 до 55 %, а предел прочности – от 140 до 350 МПа. Это свойство кристаллов и называют *анизотропностью*. Анизотропность кристаллов определяется характером расположения атомов в кристаллической решетке.

Рассмотрите свойства металлов: механические (прочность, твердость, упругость, вязкость, пластичность), физические (способность плавиться при нагревании, высокая электропроводность, высокое электросопротивление, магнитные свойства, теплопроводность), химические (коррозионная стойкость), технологические (литейные свойства, деформируемость, свариваемость и обрабатываемость режущим инструментом) и эксплуатационные (коррозионную стойкость; хладостойкость; жаропрочность, жаростойкость; антифрикционность).

Нужно усвоить, что при изменении кристаллической решетки изменяются и свойства металлов.

Рассмотрите явление аллотропии. Некоторые металлы (железо, олово, кобальт, титан, марганец и др.), носящие название полиморфных, обладают способностью претерпевать кристаллические превращения в твердом состоянии при изменении температуры. Существования одного и того же металла в нескольких кристаллических формах с различным расположением атомов в элементарной кристаллической ячейке называется *аллотропией*. Структура, имеющая ту или иную решетку, называется алло-

тропической формой или модификацией. Различные модификации обозначают греческими буквами  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  и т. д., причем буквой  $\alpha$  обозначают модификацию, существующую при температурах ниже первого аллотропического превращения. Аллотропические превращения сопровождаются отдачей (уменьшением) или поглощением (увеличением) энергии.

Уясните сущность и цель термического анализа, который используется при построении диаграмм состояния и изучении сплавов, так как дает возможность определить критические точки, т.е. температуры, при которых в сплавах происходят какие – либо превращения. Затем переходите к изучению способов определения свойств металлов и методов определения дефектов в металлах. При изучении каждого метода в конспект записывайте его достоинства, недостатки и область применения.

Запомните, что макроструктура – строение металла или сплава, видимое невооруженным глазом или в лупу.

Изучив основные методы исследования свойств металлов и физический смысл определяемых при разных методах испытания характеристик, запомните, что свойства, полученные на гладких образцах, не совпадают со свойствами готового изделия, выполненного из предварительно испытанного материала. Это связано с наличием в реальных деталях отверстий, надрезов и других концентраторов напряжений, а также с различием в характере напряженного состояния образцам детали.

#### **Вопросы для самопроверки**

1. Назовите и охарактеризуйте свойства металлов.
2. Что такое элементарная ячейка?
3. Что такое кристаллическая решетка?
4. Опишите дефекты кристаллических решеток.
5. Опишите явление анизотропности.
6. Что такое аллотропия?

**Литература:** [1, с. 16 – 21; с. 24 – 39]; [3, с. 7 – 10; 13 – 29]

#### **Тема 1.2 Испытания металлов**

Обучающийся должен:

*знать:*

- методы исследования строения металлов;
- характерные свойства материалов и методы их испытаний.

При изучении испытания на растяжение вычертите в конспекте диаграммы растяжения для пластичных и хрупких материалов и укажите характерные точки на них. Нужно знать, какие характеристики прочности и пластичности определяются при испытании на растяжение. Выпишите в конспект все формулировки (пределов упругости, пропорциональности, условного и физического пределов текучести, предела прочности). Не путайте предел текучести и площадку текучести. Предел текучести – характеристика прочности материала, а площадка текучести – характеристика

пластичности.

Способы определения твердости по Бринеллю, Роквеллу, Виккерсу находят очень широкое применение, так как просты в выполнении и производительны. Выпишите в конспект особенности и область применения каждого способа, его достоинства и недостатки. Зная числа твердости по Бринеллю, можно приблизительно судить и о прочности материала. У мягких материалов чем больше твердость, тем больше и прочность. Однако нужно обязательно иметь в виду, что прочность и твердость – это не одно и то же.

Определение ударной вязкости особенно важно для материалов, которые идут на изготовление деталей, работающих с ударными нагрузками. Для ударных испытаний на изгиб применяют образцы стандартной формы. Для испытания образец устанавливают на опорах маятникового копра. Изучите принцип этого испытания. Работу удара, приходящуюся на единицу площади поперечного сечения образца, называют *ударной вязкостью*.

Многие детали машин (шатуну двигателей, коленчатые валы и др.) в процессе работы подвергаются нагрузкам, изменяющимся по величине и направлению. При таких повторно – переменных напряжениях металл постепенно переходит из вязкого состояния в хрупкое. Хрупкое состояние объясняется появлением микротрещин, которые постепенно расширяются и ослабляют металл. В результате этого разрушение наступает при напряжениях меньших, чем предел прочности. Для деталей, работающих в таких условиях, проводят испытания металла на усталость. Изучая испытания на усталость, вычертите кривую усталости и запишите, *пределом выносливости* считается наибольшее напряжение, которое материал может выдерживать  $N$  раз, не разрушаясь ( $N$  – большое число, обычно  $10^7$  (или  $10^6$ ,  $10^8$ ), заданное техническими условиями]. Нужно знать, что разрушение при переменных нагрузках может произойти при напряжении меньше не только предела прочности, но и предела текучести.

Рассмотрите технологические испытания металлов (испытание на выдавливание, испытание на перегиб, испытание а) на осадку, испытание на искру, испытание на свариваемость), которые имеют очень большое практическое значение, так как правильно выбрать метод изготовления детали можно только в том случае, если известны его технологические свойства.

Изучив все способы определения механических свойств, разберите основные методы контроля металлов (макроанализ, микроанализ, рентгеноструктурный анализ, рентгеновский контроль, магнитная и ультразвуковая дефектоскопия).

### **Вопросы для самоконтроля:**

1. Какие характеристики прочности определяются при испытании на

растяжение?

2. Как обозначается твердость по Бринеллю?
3. В чем достоинства и недостатки способа определения твердости по методу Роквелла?
4. Какова область применения способа определения твердости по методу Виккерса?
5. Как обозначается предел выносливости?
6. Как определяется предел ползучести? Как он обозначается? Что означают цифры?
7. Перечислите основные технологические пробы. Какое практическое значение имеет их определение?
8. В чем сущность определения дефектов в металлах методом магнитной и ультразвуковой дефектоскопии?

### **Тема 1.3 Основные положения теории сплавов**

Обучающийся должен:

*знать:*

- сущность процессов кристаллизации металлов и сплавов;
- особенности строения слитков;
- сущность процесса получения монокристаллов;
- свойства аморфных материалов.
- классификацию сплавов и основные определения;
- диаграммы состояния сплавов;
- понятие о ликвации;
- диаграмму состояния Fe–Fe<sub>3</sub>C (железо-цементит), ее критические точки;
- классификацию железоуглеродистых сталей и сплавов.

Кристаллизация металлов и сплавов. Форма кристаллов и строение слитков. Получение монокристаллов. Аморфное состояние материалов. Понятие о сплавах. Классификация и структура металлов и сплавов. Основные равновесные диаграммы состояния двойных сплавов. Физические и механические свойства сплавов в равновесном состоянии.

Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов. Влияние легирующих элементов на равновесную структуру сталей.

### **Методические указания**

При изучении кристаллизации рекомендуется внимательно рассмотреть схему образования кристаллов в жидком металле.

*Кристаллизацией* называется образование кристаллов в металлах и сплавах при переходе из жидкого состояния в твердое (первичная кристаллизация), а также перекристаллизация в твердом состоянии (вторичная кристаллизация) при их охлаждении.

К вторичной кристаллизации относятся перекристаллизация из одной модификации в другую (полиморфные превращения), распад твердых растворов, распад или образование химических соединений.

Процесс кристаллизации металла представляют в виде кривых в координатах *температура – время*, которые автоматически вычерчиваются самописцем, связанным с термоэлектрическим пирометром. Рассмотрите схему его работы.

Температура, соответствующая какому – либо превращению в металле, называется *критической точкой*.

Знание критических точек очень важно для установления режимов термической обработки. При рассмотрении кривых охлаждения следует иметь в виду, что в момент плавления происходит разрушение кристаллической решетки, на что затрачивается сильное количество тепла (энергии).

Рассмотрите кривую охлаждения металла, приведенную на рисунке 1.3, а.

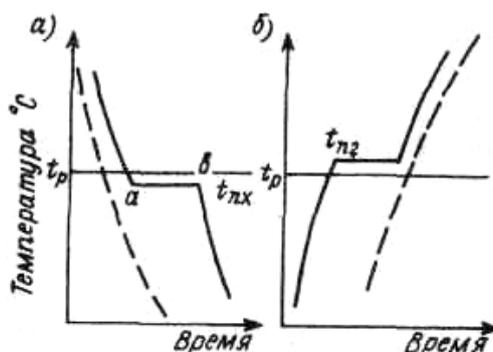


Рисунок 1.3 – Кривая охлаждения металла

Здесь точки *а* и *в* соответствуют началу и окончанию затвердевания.

Участок *ав* характеризует неизменность температуры при продолжающемся охлаждении. Это указывает на то, что при кристаллизации выделяется тепловая энергия, т.е. при кристаллизации металлов выделяется то тепло, которое при плавлении было затрачено на разрушение кристаллической решетки. Это характеризуется соответствующей температурной остановкой, т.е. горизонтальной площадкой на кривой охлаждения металла.

Чтобы вызвать в металлическом расплаве выделение твердой фазы, необходимо некоторое переохлаждение ( $t_{пх}$ ) системы против равновесной температуры ( $t_p$ ), при которой жидкая и твердая фазы являются термодинамически устойчивыми; и обратно, чтобы вызвать плавление кристаллов, металл необходимо несколько перегреть ( $t_{пг}$ ) против равновесной температуры (рисунок 1.3, б).

Это явление называется *тепловым гистерезисом*.

Запомните, чем меньше скорость охлаждения (или нагрева), тем меньше гистерезис.

При затвердевании и аллотропическом превращении в металле

вначале возникают зародыши кристалла (центры кристаллизации), вокруг которых затем группируются атомы, образуя соответствующую кристаллическую решетку.

Запомните: кристаллизация складывается из двух этапов:

- образование центров кристаллизации;
- рост кристаллов.

У аморфных веществ кривые охлаждения плавные, без площадок и уступов: аллотропии у этих веществ быть не может, а плавление и затвердевание происходят в широком интервале температур (см. штриховые линии на рисунке 1.2).

Подробно рассмотрите критические точки чистого железа, кривые охлаждения и нагрева которого приведены на рисунке 1.4. Равновесная температура плавления и затвердевания чистого железа равна  $1539\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Наличие критических точек при меньших температурах указывает на аллотропические превращения в железе.

Критические точки превращений железа обозначают буквой *A*, индексы 2, 3 и 4 служат для выделения каждого из превращений; индексом *l* обозначают превращения на диаграмме железо – углерод.

При нагреве приписывают букву *c*, а при охлаждении букву *z*, поскольку температуры превращений при нагреве выше, а при охлаждении ниже равновесных.

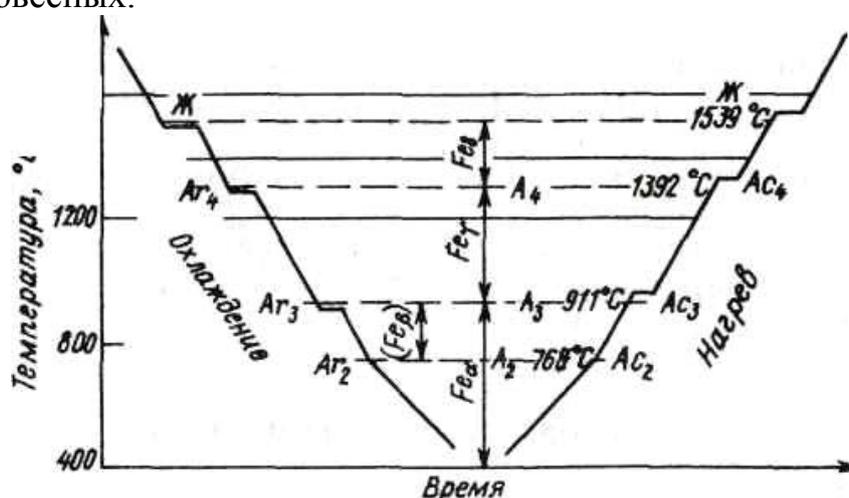


Рисунок 1.4 – Критические точки чистого железа

При температуре ниже  $768\text{ }^{\circ}\text{C}$  железо ферромагнитно.

При нагреве в точке  $A_{c2}$ , называемой точкой Кюри, железо становится парамагнитным.

На кривой в точке  $A_2$  имеется перегиб, но решетка не перестраивается (магнитное превращение не имеет гистерезиса:  $A_{c2} = A_{r2}$ ) и железо до точки  $A_{c3}$ , имеет кристаллическую решетку центрированного куба; эту модификацию называют  $\alpha$  – железо.

Парамагнитную часть этой модификации – между точками  $A_2$  и  $A_3$  –

называют  $\beta$  – железо.

В точке  $A_{C3}$   $\alpha$  – железо переходит в  $\gamma$ -железо с кристаллической решеткой гранцентрированного куба.

В точке  $A_{C4}$ ,  $\gamma$  – железо переходит в  $\alpha$ -железо, причем кристаллическая решетка вновь перестраивается из гранцентрированного куба в центрированный куб, поэтому  $\alpha$  – железо называют также высокотемпературной модификацией  $\alpha$ -железа.

При охлаждении аллотропические превращения идут в обратной последовательности.

Из перечисленных превращений наибольшее практическое значение имеют превращения в точке  $A_3$  как при нагреве ( $A_{C3}$ ), так и при охлаждении ( $A_{r3}$ ).

$\gamma$  – железо способно растворить до 2,14 % углерода при температуре 1147 °С,  $\alpha$  – железо – до 0,02 % при 723 °С и лишь 0,006 % при 0 °С.

Свойство железа растворять углерод используют при термической и химико – термической обработке. Обратите внимание на то, что превращение в точке  $A_3$  сопровождается изменением объема. Так как плотность кристаллической решетки  $\gamma$ -железа больше плотности решетки  $\alpha$  – железа, в точке  $A_{C3}$  объем уменьшается, а в точке  $A_{r3}$  – увеличивается.

Перед тем как приступить к изучению диаграмм состояния выпишите в конспект, что называется компонентом, фазой, системой, сплавом, а также что может быть фазой. Запомните, что сплав – это сложное тело.

Сплавами называют сочетания двух или нескольких металлов и неметаллов, у которых сохраняются металлические свойства. Большинство сплавов получают в жидком состоянии сплавлением, однако они могут быть получены также путем спекания, электролиза, конденсации из паробразного состояния.

По числу компонентов сплавы делят на двойные, тройные и т. д.

В зависимости от природы компонентов образуются следующие виды сплавов:

- механическая смесь компонентов;
- твердый раствор компонентов;
- химическое соединение компонентов.

Сплавы – механические смеси – неоднородны и представляют собой смесь кристаллов компонентов.

Сплавы – твердые растворы и сплавы – химические соединения – однородны, причем первые могут содержать различное соотношение компонентов, а вторые образуются только при строго определенном массовом соотношении компонентов, как всякое химическое соединение.

Обратите внимание на то, что в сплавах – твердых растворах – атомы растворимого вещества замещают атомы растворителя в кристаллической решетке (рисунок 1.5, а) или внедряются в нее (рисунок 1.5, б); сплавы – химические соединения – образуют новую кристаллическую решетку.

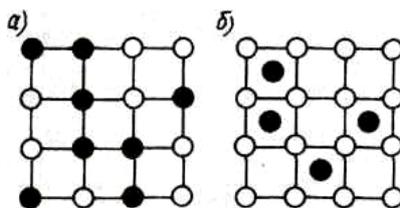


Рисунок 1.5 – Атомы растворителя в кристаллической решетке

Диаграммы состояния показывают состояние сплава данных компонентов при любой концентрации и при любой температуре. Помните, что диаграммы строят при медленном охлаждении, поэтому структуры на диаграмме соответствуют равновесному состоянию. Разберите критические точки сплавов как температуры фазовых превращений и структуры, получающиеся после каждого превращения. В конспекте укажите структуры в каждой области диаграммы и запишите, что они собой представляют.

Изучая диаграмму состояния сплава, компоненты которого в твердом состоянии не растворяются друг в друге (свинец – сурьма, олово – цинк), прежде всего четко уясните, что собой представляет эвтектика. Она образуется в результате того, что компоненты друг в друге не растворяются, и представляет собой очень тонкую механическую смесь двух фаз. Так как обе фазы кристаллизуются одновременно при одной и той же температуре, то отдельные кристаллы обеих фаз не успевают вырасти до значительных размеров и образуют настолько мелкую механическую смесь, что их практически разделить нельзя. Поэтому эвтектика обладает специфическими, только ей присущими свойствами, которые резко отличаются от свойств, входящих в нее компонентов. Обратите внимание на то, что температура окончательного затвердевания сплавов, образующих эвтектику, от состава сплава не зависит и на диаграмме образование эвтектики характеризуется горизонтальной линией. Из правила отрезков (правила рычага) видно, что состав жидкого сплава при температуре окончательного затвердевания всегда одинаковый, значит, и состав эвтектики во всех сплавах один и тот же, количество же эвтектики в разных сплавах разное и также определяется по правилу отрезков. Помните, какие сплавы называются эвтектическими, до- и заэвтектическими. Заканчивая изучение диаграммы, разберите ликвацию по плотности, в каких случаях она может возникнуть и меры ее предупреждения.

При изучении диаграмм состояния сплавов, обладающих неограниченной растворимостью, как в жидком, так и в твердом состоянии, уясните и запишите, какие вещества называются твердым раствором, и какие виды твердых растворов могут быть в сплавах. Помните, что твердые растворы – это сложные, но однородные вещества, поэтому под микроскопом твердые растворы, подобно чистому металлу, представляют собой однородные кристаллические зерна. Обратите внимание на то, что в сплавах, образу-

щих твердые растворы, в отличие от сплавов с эвтектикой температура и начала и конца затвердевания зависит от состава сплава и все сплавы затвердевают в интервале температур. Так как вещества обладают неограниченной растворимостью, то ни в одном сплаве не будет кристаллов свободных компонентов. А все сплавы данной системы однофазны и представляют собой твердый раствор. Разберите явление внутрикристаллической (дендритной ликвации), меры ее предупреждения и устранения.

подавляющее большинство сплавов обладают ограниченной растворимостью в твердом состоянии, причем предел растворения уменьшается с уменьшением температуры (сплавы свинец – олово, медь – серебро, алюминий –  $\text{SiAl}_2$ ).

В этих случаях эвтектика появляется только в тех сплавах, в которых концентрация растворимого компонента меньше предела растворимости. Разбирая эту диаграмму, особое внимание обратите на процессы, протекающие в твердом состоянии. В сплавах, у которых концентрация растворимого компонента меньше предела растворимости, после окончательного затвердевания структура представляет собой однородный твердый раствор. Уже в твердом состоянии, в связи с уменьшением предела растворимости, при понижении температуры из твердого раствора начинает выделяться вторая фаза. Например, в сплавах свинец – олово, содержащих менее 19,5% олова, в сплавах медь – серебро, содержащих менее 7% серебра, и в сплавах алюминий –  $\text{SiAl}_2$ , содержащих менее 5,67% меди, при охлаждении ниже кривой растворимости начинает образовываться вторая фаза и при комнатной температуре сплавы получают двухфазными. Запомните, что процессы кристаллизации из твердого состояния происходят по тем же законам, что и из жидкого, т.е. путем зарождения центров кристаллизации и последующего их роста, поэтому для образования второй фазы охлаждение должно быть медленным. Следует иметь в виду, что продукты вторичной кристаллизации всегда мельче, чем первичной. Запомните, что у сплавов, у которых есть превращения в твердом состоянии, можно менять структуру, а значит, и свойства путем нагрева и охлаждения с различной скоростью, т.е. путем термической обработки.

Изучая систему сплавов, образующих устойчивое химическое соединение (магний – кальций, цинк – магний), запомните, что диаграммы состояния можно рассматривать как состоящие из двух самостоятельных диаграмм, у которых вторым компонентом является химическое соединение. Диаграмму можно рассматривать в общем виде.

Физические, механические и технологические свойства сплава зависят от его структуры. Поэтому нужно обязательно разобрать зависимость между диаграммой состояния сплава и его свойствами, установленную Н.С.Курнаковым и А.А.Бочваром (диаграммы состав – свойства).

Начинать изучение диаграммы железо – цементит в соответствии с рисунком 1.6 можно только после того, как разобраны простые (двойные)

диаграммы состояния.

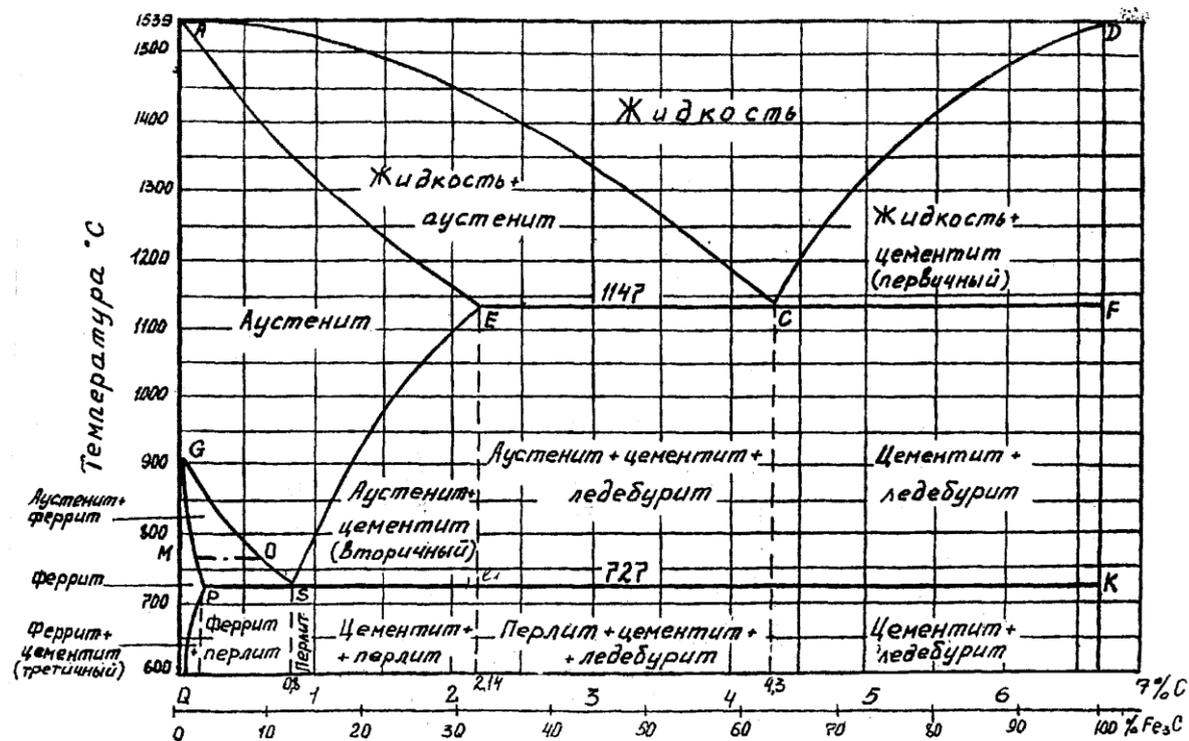


Рисунок 1.6 – Диаграмма Fe – Fe<sub>3</sub>C

Повторите аллотропические превращения железа. Эта диаграмма должна быть хорошо усвоена, так как иначе невозможно понять сущность и различные виды термической обработки. Разберите все превращения, протекающие в железоуглеродистых сплавах при медленном охлаждении, и получающиеся при этом структуры, особенно превращения в твердом состоянии. В конспекте прежде всего вычертите диаграмму состояния железо – цементит, укажите структуры во всех областях, разберите и запишите, чем характерны все критические точки и линии диаграммы, их температуры и содержание углерода. Запомните, что в результате вторичной кристаллизации по линии *GS* при охлаждении начинается превращение аустенита в феррит вследствие аллотропического превращения  $\gamma$ -железа в  $\alpha$ -железо. Так как в феррите максимально растворяется 0,04% углерода (точка *P*), то в аустените количество углерода все время увеличивается. Каждая точка линии *GS* показывает содержание углерода в аустените при данной температуре. Критические точки, образующие линию *GS*, принято обозначать при нагреве  $A_{c3}$ , а при охлаждении –  $A_{r3}$ . По линии *ES* при охлаждении из аустенита начинает выделяться вторичный цементит вследствие уменьшения растворимости углерода в аустените при понижении температуры. Цементит содержит 6,67% углерода, поэтому в остающемся аустените количество углерода уменьшается. Каждая точка линии *ES* показывает содержание углерода в аустените при данной температуре (правило отрезков). Критические точки, образующие линию *ES*, принято обозначать

$A_{cm}$ . По линии  $PSK$  происходит окончательный распад аустенита на перлит во всех сплавах системы. Из аустенита образуется мелкая механическая смесь – эвтектоид, так как в равновесном состоянии  $\gamma$ -железо при температуре ниже  $727^\circ\text{C}$  существовать не может, а  $\alpha$ -железо практически углерод не растворяет (точка  $P$ ). При температуре  $727^\circ\text{C}$  во всех сплавах содержится в аустените  $0,83\%$   $C$  (точка  $S$ , куда сходятся линии  $GS$  и  $ES$ ), значит состав перлита также постоянен и содержит  $0,83\%$  углерода. Критические точки, образующие линию  $PSK$ , при нагреве обозначают  $A_{c1}$ , а при охлаждении  $A_{r1}$ .

Отметьте в конспекте, что температура, при которой из аустенита начинает выделяться феррит или цементит (линии  $GS$  и  $ES$ ), зависит от состава сплава, а превращение аустенита в перлит происходит во всех сплавах при одной и той же температуре ( $727^\circ\text{C}$ ).

Нужно знать, что в простых углеродистых сплавах в равновесном состоянии при температуре ниже  $727^\circ\text{C}$  аустенит существовать не может, он распадается на перлит (эвтектоидную смесь феррита и цементита вторичного). Запомните равновесные структуры железоуглеродистых сплавов: аустенит, феррит, перлит, цементит, ледебурит. Запишите в конспекте, что они собой представляют. Запомните разницу между эвтектикой и эвтектоидом: и то и другое – мелкая механическая смесь, но эвтектика – продукт первичной кристаллизации, она получается при одновременной кристаллизации двух или нескольких фаз из жидкого раствора, а эвтектоид – продукт вторичной кристаллизации, он образуется при распаде твердого раствора. И эвтектика, и эвтектоид образуются в том случае, если вещества друг в друге не растворяются в твердом состоянии. Хорошо разберитесь в процессах, протекающих при нагревании и охлаждении сплавов с различной концентрацией углерода. Особое внимание обратите на критические точки, в которых происходит вторичная кристаллизация, и на получающиеся структуры.

Отвечая на вопросы контрольной работы по диаграмме железо – углерод, вычертите полностью диаграмму и укажите структуры во всех областях. Проведите вертикаль, отвечающую заданному сплаву. Рядом с диаграммой вычертите кривую охлаждения данного сплава, укажите на ней температуры, соответствующие каждой критической точке. Опишите структурные превращения в каждой критической точке. Описывать нужно только те превращения, которые происходят в заданном сплаве.

*Пример –*

Вопрос: вычертите диаграмму железо-цементит и укажите превращения в стали, содержащей  $1\%$  углерода, при медленном охлаждении от  $1600$  до  $20^\circ\text{C}$ .

Ответ: при охлаждении сплава до температуры  $t=1450^\circ\text{C}$  в соответствии с рисунком 1.7 идет охлаждение жидкого раствора.

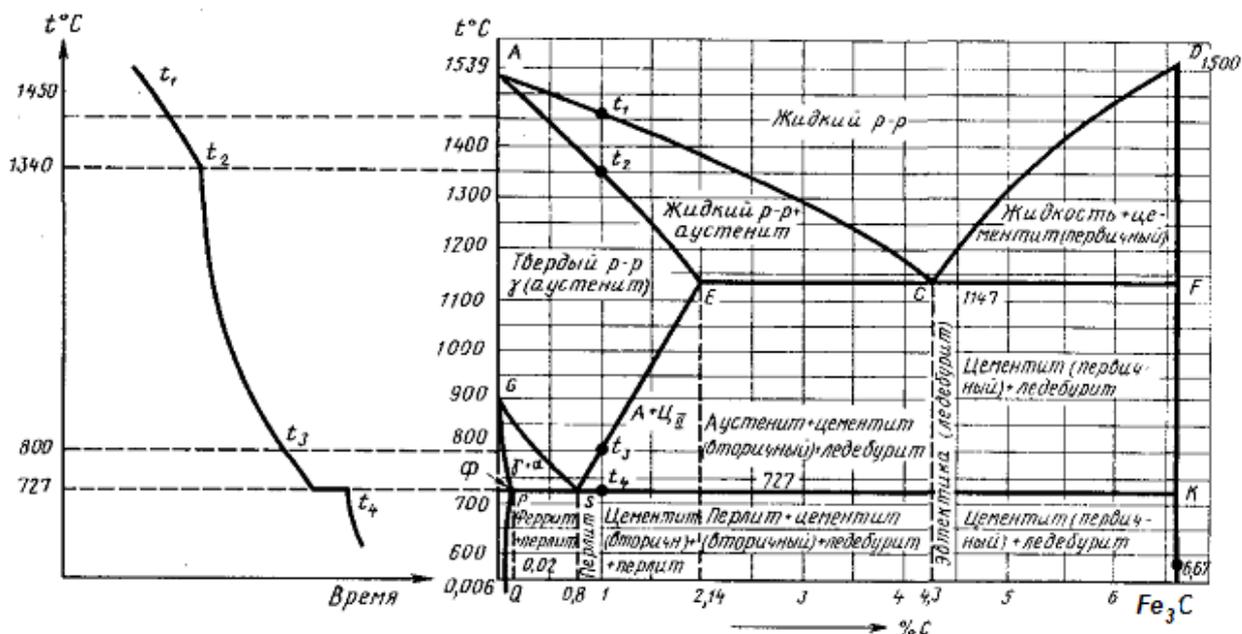


Рисунок 1.7 – Пример выполнения задания в контрольной работе

Начиная с точки  $t_1$ , из жидкого раствора выделяются кристаллы аустенита. Аустенит – это твердый раствор углерода в  $\gamma$ -железе. В интервале температур между точками  $t_1$  и  $t_2 = 1340^\circ\text{C}$  количество кристаллов аустенита увеличивается, а количество жидкой фазы уменьшается. В точке  $t_2$  происходит окончательное затвердевание аустенита. В интервале температур между точками  $t_2$  и  $t_3$  никаких превращений не происходит, идет охлаждение аустенита. В точке  $t_3 = 800^\circ\text{C}$  начинается вторичная кристаллизация: из аустенита начинает выделяться вторичный цементит, так как растворимость углерода в железе с уменьшением температуры уменьшается. Цементит – это химическое соединение железа с углеродом – карбид железа ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ). В интервале температур между точками  $t_3$  и  $t_4$  количество цементита увеличивается. Поскольку цементит содержит 6,67% углерода, в остающемся аустените количество углерода уменьшается в соответствии с точками линии  $ES$ . В точке  $t_4 = 727^\circ\text{C}$  оставшийся аустенит, содержащий 0,83% углерода (точка  $S$ ), окончательно распадается на перлит. Перлит – это эвтектоид – мелкая механическая смесь феррита и цементита вторичного. Окончательная структура сплава – перлит и цементит вторичный.

Изучите влияние легирующих элементов на критические точки железа и стали и объясните, при каком сочетании углерода и соответствующего легирующего элемента могут быть получены легированные стали ферритного, перлитного, аустенитного и ледебуритного классов.

### Вопросы для самопроверки

1. Что называется кристаллизацией металлов и сплавов?
2. Что такое критическая точка?

3. В каких координатах представляют кривые кристаллизации металла?
4. Какое явление называется тепловым гистерезисом?
5. Как зависит тепловой гистерезис от скорости охлаждения?
6. Назовите этапы кристаллизации?
7. Какие вещества называются аморфными? Приведите примеры.
8. Опишите особенности процессов охлаждения и нагрева в чистом железе.
9. Какое значение имеют диаграммы состояния?
10. Какой сплав называется эвтектическим, до- и заэвтектическим?
11. Чем характерен эвтектический сплав?
12. Пользуясь правилом отрезков, определите, сколько сурьмы (или цинка) и эвтектики будет в сплаве Sb – Zn, содержащем 20% сурьмы (или цинка).
13. Нарисуйте схемы расположения атомов обоих компонентов в твердых растворах замещения и внедрения.
14. Объясните значение всех критических точек и линий на диаграмме состояния сплавов с ограниченной растворимостью в твердом состоянии.
15. Что называется ликвацией?
16. Почему в качестве конструкционных материалов наибольшее применение нашли сплавы, у которых есть фазовые превращения в твердом состоянии?
17. Какие превращения происходят в сплавах железо – цементит по линиям GS и ES?
18. При какой температуре происходит образование перлита?
19. Назовите линии первичной кристаллизации на диаграмме железо – цементит.
20. Что такое феррит, аустенит, перлит, цементит и ледебурит?
21. Какие легирующие элементы являются карбидо-образующими?
22. Какие легирующие элементы способствуют графитизации?
23. Какое практическое значение имеет диаграмма железо – цементит?

**Литература:** [1, с. 21 – 24]; [2, с. 6 – 8]; [3, с. 10 – 13]; [1, с. 39 – 47, с.73 – 75]; [2, с. 10 – 14]; [3, с. 29 – 38, с. 78 – 86]

#### **Тема 1.4 Термическая и химико-термическая обработка металлов и сплавов**

Обучающийся должен:

*иметь представление:*

– о перспективах развития термической и химико – термической обработки материалов;

– о возможных дефектах материалов при термической и химико-термической обработке материалов;

*знать:*

– основные виды и процессы термической и химико-термической обработки материалов и сплавов;

– влияние термической и химико – термической обработки на структуру и свойства материалов и сплавов;

– основное оборудование для термической и химико-технической обработки;

*уметь:*

– выбирать термическую обработку деталей исходя из требуемых свойств;

– обосновывать выбранный режим термической обработки;

– указывать свойства сталей после различных видов термической обработки;

– выбирать вид химико-термической обработки исходя из марки стали и требуемых свойств.

Определение и классификация видов термической обработки. Превращения в металлах и сплавах при нагреве и охлаждении. Основное оборудование для термической обработки. Виды термической обработки стали: отжиг, нормализация, закалка, отпуск закаленных сталей. Поверхностная закалка сталей. Дефекты термической обработки и методы их предупреждения и устранения. Термомеханическая обработка, виды, сущность, область применения.

Определение и классификация основных видов химико-термической обработки металлов и сплавов. Цементация стали. Азотирование стали. Ионное (плазменное) азотирование и цементация. Диффузионное насыщение сплавов металлами и неметаллами.

### **Методические указания**

Современная техника предъявляет все возрастающие требования к механическим свойствам металлов, которые в значительной степени можно улучшить путем термической и химико – термической обработки. Увеличение прочности деталей во многих случаях разрешает уменьшить их габариты и массу, что дает огромную экономию металла.

Изучение темы начните с процессов, протекающих при охлаждении аустенита с различной скоростью. Разберите диаграмму распада аустенита при непрерывном охлаждении и изотермического распада аустенита (С – образные кривые), а также, структуры, получающиеся при разной скорости распада аустенита. Запишите, что перлит, сорбит и троостит – это двухфазные структуры, представляющие собой ферритно-цементитную смесь различной степени дисперсности (размельченности); они имеют пластинчатое

строение.

При большой скорости охлаждения диффузия углерода не успевает произойти, происходит только аллотропическое превращение железа, поэтому из аустенита получается однофазная структура – мартенсит, который представляет собой пересыщенный твердый раствор углерода в  $\gamma$ -железе, он имеет игольчатое строение. Запомните, что чем больше скорость охлаждения аустенита, тем тверже получающиеся структуры. Нужно знать, какая температура называется мартенситной точкой. В углеродистых сталях начало мартенситного превращения происходит около  $200^{\circ}\text{C}$ . Отметьте в конспекте отличие мартенситного превращения от перлитного. Запомните, что в отличие от перлитного мартенситное превращение никогда не идет до конца, поэтому в стали всегда остается определенное количество остаточного аустенита; на мартенситную точку скорость охлаждения не влияет, она практически зависит только от состава стали. Нарисуйте в конспекте диаграмму изотермического распада аустенита, отметьте на ней критическую скорость закалки и мартенситную точку и запишите, какая скорость охлаждения является критической скоростью закалки. Запишите также названия и механические свойства всех структур, получающихся при распаде аустенита.

Любая *термическая обработка* состоит из нагрева до заданной температуры, выдержки и охлаждения с заданной скоростью, поэтому термическую обработку обычно выражают графически в координатах температура – время. В зависимости от температуры нагрева и скорости охлаждения различают следующие основные виды термической обработки: *отжиг*, *нормализацию*, *закалку* и *отпуск*. Нужно знать цель и сущность каждого вида термической обработки, его технологию, а главное – какую структуру и свойства приобретает сталь в результате проведения каждого вида термической обработки. Это обязательно нужно отмечать в конспекте. Нужно иметь в виду, что иногда брак, полученный при термической обработке, может проявиться только при работе деталей.

Изучая процесс *отжига*, разберите, в каких случаях какой метод отжига наиболее целесообразно применять, каким сталям дают *полный отжиг*, а каким – *неполный*. Легированные стали и крупные поковки требуют очень медленного охлаждения, поэтому применение для них изотермического отжига значительно увеличивает производительность.

Цель отжига – получение максимальной вязкости и пластичности, а так как у разных сталей время устойчивости аустенита разное (С – образные кривые), то и скорость охлаждения при отжиге для разных сталей разная. Она зависит от устойчивости аустенита в области перлитного превращения.

Изучая процесс *нормализации*, прежде всего уясните разницу между отжигом и нормализацией в их назначении и способах проведения процесса. При отжиге скорость охлаждения разная для разных сталей, так как в

структуре должен быть перлит. При нормализации же скорость охлаждения для всех сталей одна и та же – на воздухе. Поэтому после нормализации у разных сталей получается разная структура, она зависит от критической скорости закалки. В углеродистой стали после нормализации структура практически получается такая же, как и после отжига, но более мелкая, поэтому прочность нормализованных сталей несколько выше, чем отожженных. В ряде случаев для углеродистой стали вместо отжига можно производить нормализацию. В легированных сталях в зависимости от критической скорости закалки в структуре может быть сорбит, троостит, мартенсит.

*Закалка* один из наиболее важных видов термической обработки. При изучении закалки прежде всего уясните, как выбирается температура нагрева в зависимости от содержания углерода в стали. Для доэвтектоидной стали всегда дают *полную закалку*, так как при неполной остается феррит, который образует мягкие участки. Для заэвтектоидной стали можно дать *неполную закалку*, так как остающийся цементит твердости не снижает. Нужно знать охлаждающие среды и требования к ним. Следует иметь в виду, что при чрезмерном увеличении скорости охлаждения получают большие внутренние напряжения, коробления и могут быть трещины.

Запишите, что называется прокаливаемостью стали и как на нее влияет критическая скорость закалки. Разберите основные методы закалки, применяемые на практике, в каких случаях какой метод целесообразно применять. Желательно кривые охлаждения при различных методах закалки нанести на диаграмму изотермического распада аустенита, тогда наглядно видна разница между ними. Изучая *ступенчатую и изотермическую закалку*, обратите внимание на то, что температура горячей среды, в которой происходит выдержка, может быть одинаковой (вблизи мартенситной точки), но при *ступенчатой закалке* время выдержки должно быть меньше времени устойчивости аустенита при данной температуре, поэтому окончательная структура – мартенсит. При изотермической закалке время выдержки должно обеспечить полный распад аустенита на игольчатый троостит. Игольчатый троостит обладает значительно меньшей твердостью, чем мартенсит, поэтому изотермическую закалку нельзя применять для режущего инструмента, но она обеспечивает большую прочность при минимальных внутренних напряжениях, так как отсутствует мартенситное превращение. Ее наиболее целесообразно применять для тех деталей, которые работают с временными перегрузками и при работе которых отсутствует пластическая деформация, например для пружин. В сталях, у которых мартенситная точка лежит ниже 0°C, после закалки может появиться большое количество остаточного аустенита. Такие стали, например, легированные инструментальные или постоянные магниты, для уменьшения количества остаточного аустенита после закалки обрабатывают холодом, т.е. охлаждают ниже 0°C.

В результате закалки в деталях всегда возникают внутренние

напряжения в связи с резким охлаждением и фазовыми превращениями. Для уменьшения напряжений, увеличения вязкости, иногда снижения твердости после закалки всегда следует *отпуск* – окончательная термическая обработка, которая определяет конечную структуру, а значит свойства и качество деталей. Необходимо знать структуру после каждого вида отпуска, температуру различных видов отпуска и для каких деталей обычно применяется *низкий, средний и высокий отпуск*. Наилучшим сочетанием между прочностью и вязкостью обладает сорбит отпуска, поэтому термическая обработка, состоящая из закалки и высокого отпуска, называется *улучшением* стали.

Детали, которые должны иметь твердость только на поверхности, подвергают *поверхностной закалке*, в результате чего увеличивается общая прочность деталей, так как увеличивается предел выносливости. Разберите основные методы поверхностной закалки. Уделите внимание закалке токами высокой частоты (ТВЧ), так как ее наиболее легко автоматизировать и получить наилучшие результаты. При изучении поверхностной закалки газовым пламенем надо иметь в виду, что для крупных деталей это в ряде случаев единственный метод поверхностного упрочнения. Нужно знать новые прогрессивные методы упрочнения деталей: термомеханическую, ультразвуковую, термомагнитную обработку. Запишите, что высокотемпературной термомеханической обработке (ВТМО) можно подвергать любые стали, а низкотемпературной (НТМО) – только те, у которых переохлажденный аустенит обладает повышенной устойчивостью, т.е. легированные.

При изучении процессов *химико-термической обработки* нужно обращать внимание на температуру процесса, химический состав стали (особенно на процентное содержание углерода) и на необходимость термической обработки до или после того или иного вида химико-термической обработки. Каждый вид химико – термической обработки имеет свою область применения, определенные достоинства и недостатки. Рассматривать их нужно именно с этой точки зрения и записывать это в конспект.

При изучении *цементации* особое внимание уделите газовой цементации, как наиболее прогрессивному методу, который позволяет наиболее полно осуществить механизацию и автоматизацию процесса. Запомните, что твердость поверхностного слоя после цементации получается только при последующей закалке, сердцевина при этом остается вязкой, так как стали с малым содержанием углерода практически не закаливаются.

Достоинства *азотирования* в том, что твердость не снижается при повторных нагревах до 500 -600°С и увеличивается сопротивление коррозии в неэлектролитах. Но азотирование – процесс очень дорогой и непроизводительный, поэтому применять его следует только в тех случаях, когда никакая другая обработка не обеспечивает нужных свойств. Например, для деталей, которые подвергаются истиранию и работают в условиях коррозии, или для деталей, которые истираются и во время работы могут перио-

дически нагреваться до 500 – 600°C (нельзя путать детали, которые периодически нагреваются во время работы, например штампы для горячей штамповки во время соприкосновения с заготовкой, с деталями, которые постоянно нагреты во время работы, например лопатки газовых турбин).

При изучении *цианирования* обратите внимание на свойства цианированного слоя в зависимости от температуры, при которой происходит цианирование, и на область применения низко-, средне- и высокотемпературного цианирования. Высокотемпературное цианирование обычно производится в газовой среде. Этот процесс называется *нитроцементацией*.

Нужно иметь представление о *диффузионной металлизации хромом, алюминием и другими элементами*, понимать принципиальное отличие диффузионного насыщения поверхности металлами от гальванических покрытий, а главное – назначение каждого метода.

Отвечать на вопросы контрольной работы, связанные с термической и химико – термической обработкой, нужно следующим образом.

*Пример -*

Вопрос: Выберите и обоснуйте режим термической обработки для резца из стали У10А.

Ответ: Заготовка для резца подвергается предварительной термической обработке – отжигу на зернистый цементит для получения мягкой однородной структуры. Температура отжига 770 – 790°C, охлаждение в печи. После окончательной механической обработки кроме шлифования резец подвергается закалке и низкому отпуску. Поскольку сталь У10А является заэвтектонидной, закалка производится неполная, температура нагрева 770 – 780°C, время выдержки назначается в зависимости от сечения, обычно 1 – 2 ч. Средой охлаждения является вода, так как углеродистая сталь имеет большую критическую скорость закалки. Лучшие результаты дает закалка в двух средах: в воде, а затем в масле. Так как резец должен иметь высокую твердость, то он подвергается низкому отпуску при температуре 150 – 200°C. После термической обработки резец должен иметь твердость порядка *HRC 60 – 62*.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Какие получаются продукты распада аустенита в зависимости от скорости его охлаждения?
2. Какая скорость охлаждения называется критической скоростью закалки?
3. Какие факторы влияют на мартенситную точку?
4. Почему в результате термической обработки могут быть уменьшены размеры и масса деталей машин и механизмов?
5. От чего зависит скорость охлаждения при отжиге 2-го рода?
6. Какая разница между отжигами 2-го и 1-го рода?
7. В чем принципиальное отличие изотермического отжига от

обычного и в чем его преимущества?

8. От чего зависят получающиеся структуры после нормализации?
9. Какая закалка называется полной, а какая – неполной?
10. От чего зависит выбор охлаждающей среды при закалке?
11. Какая структура получается в стали после ступенчатой и после изотермической закалки?
12. В чем заключается обработка холодом?
13. В каких случаях она целесообразна?
14. Зачем после закалки производится отпуск стали?
15. От чего зависит выбор температуры отпуска?
16. В чем достоинства поверхностной закалки ТВЧ перед другими видами поверхностной закалки?
17. Для деталей из каких сталей производится цементация?
18. Укажите основные виды азотирования.
19. Какая принципиальная разница между диффузионной металлизацией и поверхностным покрытием металлами?

**Литература:** [1, с. 87 – 107]; [3, с. 92 – 130]

## **Раздел 2. Материалы, применяемые в машиностроении**

### **Тема 2.1. Углеродистые стали**

Обучающийся должен:

*знать:*

- общие требования, предъявляемые к конструкционным материалам;
- классификацию углеродистых сталей;
- технические характеристики углеродистых сталей;
- методы повышения конструктивной прочности;
- маркировку и область применения сталей;
- принцип выбора сталей для конкретных условий работы.

*уметь:*

- выбирать материалы по их технологическим характеристикам.

Общие требования, предъявляемые к конструкционным материалам. Классификация конструкционных материалов и их технические характеристики.

Влияние углерода и постоянных примесей на свойства сталей. Углеродистые стали: обыкновенного качества и качественные стали. Легированные стали.

### **Методические указания**

Конструкционные материалы по признакам их свойств и структуры

можно разделить на две основные группы:

- 1) металлические – металлы и сплавы;
- 2) неметаллические – полимерные (естественные и искусственные) и минералы.

Важнейшим промышленным металлом является *железо*, которое в чистом виде и в сплавах с углеродом и другими элементами относят к группе черных металлов. Сплавами этой группы являются *сталь, чугун и ферросплавы*.

Из общей массы выплавляемых во всем мире металлов около 94 % приходится на черные. Они представляют главный конструкционный материал в машино- и приборостроении и один из главных в строительной индустрии, транспорте и связи. Все остальные металлы и их сплавы относят к группе *цветных металлов*.

Некоторые металлы находят широкое применение в технически чистом виде, т. е. с малым содержанием примесей, например, железо, медь и алюминий в электро- и радиотехнике. Другие металлы, например тантал, ниобий, гафний, цирконий, кремний используют в сверхчистом виде, т. е. с миллионными долями процента всех примесей или даже на уровне отдельных атомов примесей, в приборостроении, атомной технике, вычислительной технике.

Несравненно шире и разнообразнее применение металлических сплавов, которых насчитывается десятки тысяч марок. В соответствии с подразделением металлов и исходных руд различают металлургию черных и цветных металлов.

При изучении стали прежде всего уясните разницу между чугуном и сталью по химическому составу, механическим и технологическим свойствам. Сталь – это сплав железа с углеродом, где содержания углерода до 2,14 %. Выпишите в конспект количество углерода и основных примесей, которые входят в сталь.

В настоящее время сталь получают преимущественно путем передела чугуна. Основные способы получения стали: конвертерный, мартеновский, электроплавка. Процесс получения стали – это окислительный процесс. При любом способе получения стали происходит окисление примесей, содержащихся в чугуне. Окислителем является оксид железа ( $\text{FeO}$ ), который растворяется в металле и в шлаке.

Затем разберите маркировку стали по ГОСТу. Выпишите в конспект несколько марок конструкционной и инструментальной сталей обыкновенного качества, качественной и высококачественной и укажите их состав, свойства и область применения. Нужно знать влияние углерода и основных примесей на свойства углеродистой стали. Обратите внимание на требования к конструкционным и инструментальным сталям. Запомните, что в конструкционных сталях содержание углерода не превышает 0,65%, так как при большем содержании углерода детали становятся хрупкими. В ин-

струментальных сталях, наоборот, содержание углерода должно быть выше 0,7%, так как инструмент в первую очередь должен быть твердым (кроме штампов, деформирующих металл в горячем состоянии).

Большое значение имеет применение низколегированных сталей. Добавка к стали небольшого количества (до 1 – 2%) недорогих легирующих элементов (кремния, марганца и некоторых других) незначительно удорожает сталь, но позволяет уменьшить размеры, увеличить долговечность и надежность деталей машин и инструмента, так как у легированных сталей повышенная прочность, что в конечном итоге снижает расход металла и дает экономический эффект.

Так как свойства сталей зависят от их внутреннего строения, то изучение этой темы нужно начать с влияния легирующих элементов на структуру и свойства сталей. Разберитесь, почему свойства легированных сталей отличаются от углеродистых при одном и том же содержании углерода. Почти все легирующие элементы понижают мартенситную точку, поэтому после закалки у них получается больше остаточного аустенита, чем у углеродистых. Легированные инструментальные стали и постоянные магниты целесообразно после закалки обрабатывать холодом.

Изучая влияние легирующих элементов на отпуск, нужно особое внимание обратить на отпускную хрупкость 1-го и 2-го рода. Для предупреждения отпускной хрупкости 2-го рода стали с вольфрамом или молибденом применяют только для крупных деталей или для деталей, которые во время работы могут периодически нагреваться.

Необходимо знать классификацию легированных сталей по различным признакам и их маркировку, уметь правильно определить по марке стали ее химический состав и примерное назначение. Выпишите в конспект несколько марок легированных сталей, расшифруйте их состав, укажите назначение.

Изучая *конструкционные и инструментальные* стали, уясните цель легирования, преимущества легированных сталей перед углеродистыми. Основная цель легирования конструкционных сталей – увеличение их прокаливаемости. Сталь должна обеспечить прокаливаемость в рабочем сечении детали, т.е. в том сечении, на которое действуют нагрузки. Обычно чем больше действующие нагрузки и чем больше сечение детали, тем более легирована сталь. Основное достоинство легированных инструментальных сталей – возможность их закалки в масле или расплавленных солях, так как при этом возникают меньшие напряжения и коробления, меньшая хрупкость. Выбор инструментальных сталей делается с учетом термической обработки и в соответствии с областью их применения.

Инструмент из низколегированных сталей не может работать при большой скорости резания, так как при нагреве свыше 200 – 250°C резко падает твердость. Сохраняют твердость при нагреве до 500 – 600°C только быстрорежущие стали.

При изучении быстрорежущих сталей прежде всего выпишите в конспект марки быстрорежущих сталей и их состав. Нужно знать, что быстрорежущие стали маркируют по основному легирующему элементу – вольфраму. Например, в марке P18 цифра показывает его процентное содержание. Начертите в конспекте график термической обработки быстрорежущей стали и разберите отдельные операции процесса. Обратите внимание на особенности ее термической обработки. Запомните, что после высокого отпуска твердость быстрорежущей стали повышается, так как в результате отпуска остаточный аустенит переходит в мартенсит.

Изучая *нержавеющие стали*, нужно обращать внимание на содержание углерода и связывать их свойства со структурой. Однофазные сплавы значительно лучше сопротивляются коррозии, чем многофазные, поэтому, чем меньше в стали углерода, тем выше ее коррозионная стойкость. Внимательно разберите термическую обработку сталей.

Разбирая *жаростойкие и жаропрочные* стали, следует иметь в виду, что это всегда сложнолегированные стали, которые содержат много элементов и в большом количестве. Окалиностойкость в основном зависит от химического состава, жаропрочность – от многих факторов. Термическая обработка зависит от условий работы деталей.

Изучите *магнитные стали и сплавы, сплавы с определенным коэффициентом линейного расширения и стали с особыми физико – химическими свойствами*. Нужно обращать внимание на их химический состав, термическую обработку, если она производится, и область применения каждого сплава.

Выбор марки стали для различных деталей тесно связан со свойствами материала и с условиями работы деталей. Исходя из этого, нужно отвечать на вопросы контрольной работы, связанные с выбором марки стали для различных деталей.

Пример –

Вопрос: выберите и обоснуйте марку стали для измерительного инструмента (калибра).

Ответ: Калибр непосредственно соприкасается с поверхностью деталей, поэтому он должен быть твердым и износоустойчивым. Инструмент должен сохранять точный профиль и размеры после термической обработки, поэтому сталь должна мало деформироваться при закалке. Кроме того, инструмент должен длительное время сохранять свои размеры, значит, в стали с течением времени не должно происходить естественного старения. Этим требованиям удовлетворяет сталь ХГ, содержащая примерно по 1% углерода, хрома и марганца. Она мало деформируется при закалке и длительное время сохраняет свои размеры. После закалки и низкого отпуска получается твердость HRC 60 – 62.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Как влияет углерод на свойства сталей?
2. Почему практически не применяются стали, в которых углерода более 1,35%? 3. Как влияют основные постоянные примеси на свойства стали?
3. Как влияют фосфор и сера на свойства стали?
4. Какая разница в свойствах при одинаковом содержании углерода между сталью обыкновенного качества, качественной и высококачественной?
5. Какая сталь называется высококачественной?
6. Расшифруйте марки сталей: 60, У12А. Укажите область их применения.
7. Как влияют легирующие элементы на критические точки и линии диаграммы железо – цементит?
8. Как влияют легирующие элементы на критическую скорость закаливания?
9. Какое практическое значение имеет возможность закаливания легированных сталей в масле?

**Литература:** [1, с. 48 – 49, 75 – 87, 107 – 123]; [2, с. 14 – 17]; [3, с. 86 – 92, 139 – 156]

## **Тема 2.2. Чугуны**

Обучающийся должен:

*знать:*

- классификацию чугунов;
- технические характеристики чугунов;
- маркировку и область применения чугунов;
- принцип выбора чугунов для конкретных условий работы.

*уметь:*

- выбирать материалы по их технологическим характеристикам.

Классификация чугунов. Влияние постоянных примесей на свойства и структуру чугуна. Серый чугун, его структура, свойства, маркировка по ГОСТу и применение. Ковкий чугун. Методы получения ковкого чугуна. Его структура, свойства, маркировка по ГОСТу и применение. Высокопрочный чугун, его структура, свойства, маркировка по ГОСТу и применение. Антифрикционные чугуны, маркировка, и применение.

### **Методические указания**

Следует запомнить, что чугун – это сплав железа с углеродом, где углерода более 2,14 %. Чугун обладает хорошими литейными свойствами, а сложные по конфигурации детали легче и дешевле получать методом литья. Общие затраты на изготовление стального коленчатого вала в 3,5 раза больше, чем чугунного. Заготовка литого коленчатого вала из высокопрочного чугуна в три раза легче заготовки из легированной стали.

В зависимости от состояния углерода различают следующие чугу-

ны:

*Белый чугун*, в котором весь углерод связан в цементите, он имеет большую твердость и крупность. Из него отливают детали, работающие в условиях повышенного износа (например, валики прокатных станков). Основная масса белого чугуна используется для передела на сталь.

В *сером* чугуне весь углерод или его большая часть находится в виде графита, что придает излому этого чугуна серый цвет. Механические свойства серого чугуна зависят от металлической основы (ферритной, перлитной), а также формы и размеров включений графита. Графит в сером чугуне имеет форму пластинок, чешуек. Поскольку графит имеет очень малую прочность и не имеет связи с металлической основой чугуна, полосы занятые графитом, можно рассматривать как пустоты, надрезы или трещины в металлической основе чугуна, которые значительно снижают его прочность и пластичность. Серый чугун применяют как литейный, он имеет повышенное содержание кремния (3,5%) и пониженное содержание серы (0,07%). Серый чугун используется для изготовления блока цилиндров, гильз цилиндров, маховика, картеров коробки передач, зубчатых колес распределительного вала, трубопроводов, крышек коробки передач и т.д. Прочность серого чугуна снижается гораздо меньше, если графит имеет округлую форму. Шарообразную форму графита получают при модифицировании чугуна, для этого в расплавленный чугун вводят модификаторы – ферросилиций или силикокальций. Модифицированные чугуны обладают наиболее высокими прочностными свойствами благодаря мелким графитным включениям. Серые модифицированные чугуны применяют для изготовления особо ответственных деталей (головки блоков двигателей, коленчатых валов).

*Высокопрочный чугун* имеет графит в виде шаровидных включений. Для получения графита такой формы в ковш с жидким серым чугуном добавляют магний. Механические свойства высокопрочного чугуна позволяют применять его для изготовления деталей машин, работающих в тяжелых условиях, вместо поковок или отливок из стали.

*Ковкий чугун* не куется, но обладает некоторой пластичностью. Ковкий чугун получают длительным отжигом белого чугуна. При этом цементит белого чугуна распадается с образованием графита хлопьевидной формы. Из него изготавливают детали высокой прочности, способные воспринимать повторно – переменные и ударные нагрузки и работающие в условиях повышенного износа.

Разберите маркировку и применение серого, ковкого и высокопрочного чугуна. Выпишите в конспект, в каком количестве находится углерод и основные примеси в чугунах. Следует изучить влияние примесей углерода, кремния, марганца, серы и фосфора на структуру и свойства чугуна.

Ознакомьтесь с применением шлака и доменного газа в промышленности.

### **Вопросы для самоконтроля:**

1. Как влияют примеси на свойства чугуна?
2. Как влияет углерод на свойства чугуна?
3. Сколько углерода и в каком состоянии он присутствует в белом и сером чугуне?
4. Какие чугуны называются ферросплавами? Область их применения.
5. Что такое ковкий чугун? Как он маркируется?
6. Что такое высокопрочный чугун? Как он маркируется?

### **Тема 2.3 Легированные стали**

Обучающийся должен:

*знать:*

- назначение легирующих элементов;
- применение конструкционных и легированных сталей;
- свойства конструкционных и легированных сталей;
- маркировку конструкционных и легированных сталей.

*уметь:*

- выбирать материалы по их технологическим характеристикам.

#### **Методические указания**

Легированные стали – это стали в которых для определенных свойств вводят легирующие элементы. Ведущая роль легирующих элементов в конструкционных сталях заключается и в существенном повышении их прокаливаемости. Основными легирующими элементами этой группы сталей являются хром, марганец, никель, молибден, ванадий и бор. Содержание углерода в легированных конструкционных сталях – в пределах 0,25 – 0,50 %. Легированные конструкционные стали применяются для наиболее ответственных и тяжело нагруженных деталей машин. Практически всегда эти детали подвергаются окончательной термической обработке – закалке с последующим высоким отпуском в районе 550 – 680°C (улучшение), что обеспечивает наиболее высокую конструктивную прочность.

Легированные конструкционные стали маркируют цифрами и буквами. Двухзначные цифры, приводимые в начале марки, указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента, буквы обозначают легирующий элемент. Цифры после букв показывают долю данного элемента в процентах. Пример, сталь 12Х2Н4А содержит 0.12% С, Cr – 2%, Ni – 4% и относится к высококачественным, на что указывает буква А в конце марки.

Конструкционные стали должны обладать высокой конструктивной прочностью, обеспечивать длительную и надежную работу конструкции в условиях эксплуатации. Поэтому особенность требований, предъявляемых к конструкционным сталям, состоит в необходимости обеспечения комплекса высоких механических свойств. Помимо этого конструкционные стали должны иметь высокие технологические свойства — хорошие ли-

тейные свойства, обрабатываемость давлением, резанием, хорошую свариваемость.

Конструкционные легированные стали, их свойства, состав, маркировка по ГОСТу, применение. Легированные конструкционные стали общего и специального назначения.

Легированные инструментальные стали – это углеродистые инструментальные стали, легированные хромом (Х), вольфрамом (В), ванадием (Ф), марганцем (Г), кремнием (С) и другими элементами.

Инструментальные легированные стали, их состав, свойства, маркировка по ГОСТу. Инструментальные легированные стали с особыми свойствами, маркировка по ГОСТу, применение. Сверхтвердые инструментальные материалы.

#### **Вопросы для самоконтроля:**

- 1 Каково назначение легирующих элементов?
- 2 Где применяются конструкционные и легированные стали?
- 3 Какими свойствами обладают конструкционные и легированные стали?
- 4 Как маркируются конструкционные и легированные стали?

**Литература:** [1, с. 140 – 149], [3, с. 212 – 214]

#### **Тема 2.4 Порошковые материалы**

Обучающийся должен:

*иметь представление:*

- о методах получения изделий из порошков;
- об особенностях порошковых материалов;

*знать:*

- свойства и применение порошковых материалов.

Получение изделий из порошков. Метод порошковой металлургии. Свойства и применение порошковых материалов в промышленности.

#### **Методические указания**

Технология порошковой металлургии позволяет получать изделия из одного металла, например, железа (такие изделия называют однокомпонентными), а также из смеси порошков металлов или металлов с неметаллами (многокомпонентные изделия), причем в самых различных сочетаниях.

По этой технологии можно получить сплавы (вернее псевдосплавы) из металлов, которые не образуют растворов, не смешиваются в жидком состоянии (железо – свинец, вольфрам – медь и др.), а также из металлов с неметаллами (медь – графит, алюминий – оксид алюминия, карбид вольфрама – кобальт и др.), из некоторых оксидов металлов ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{MnO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{NO}$ ).

Схема получения изделий из порошков включает следующие ос-

новные процессы:

- получение порошков и подготовка порошковой шихты;
- получение из порошка консолидированного тела – формование с применением давления и спекание отформованных изделий.

Для многих изделий порошковая металлургия является единственным возможным способом их получения, например, порошковая металлургия незаменима при производстве компактных изделий из вольфрама, молибдена, ниобия, деталей для устройств вычислительной техники и радиоэлектроники (ферриты), для изготовления металло – керамических твердых сплавов, производстве металлических фильтров и многого другого.

Рассмотрите процесс изготовления металлических порошков и виды изделий из них.

#### *Металлокерамические твердые сплавы*

В машиностроении эти сплавы широко используют как инструментальные материалы. Их получают методами порошковой металлургии.

#### *Минералокерамические материалы*

Эти материалы представляет микролит корундовый (спеченный корунд) марки ЦМ 332 в виде пластинок для режущего инструмента и фильера для волочения 9фильера – волокна с одним отверстием).

Эти изделия получают методом порошковой металлургии из мелких зерен (0,5 – 0,75 мкм) порошка глинозема с небольшим количеством (0,6 – 1,0 %) оксида магния (в качестве модификатора).

#### *Сверхтвердые инструментальные материалы*

Алмаз имеет твердость значительно большую, чем у твердых сплавов, а износостойкость – в десятки раз большую. Однако алмаз хрупок, поэтому кристаллы алмаза используют для тонкого (так называемого алмазного) точения заготовок из цветных металлов и неметаллических материалов. Теплостойкость алмаза невелика (до 600 °С). Для изготовления резцов используют алмазы массой свыше 0,3 карата (карат равен 0,2 г).

Эльбор (кристаллический нитрид бора) по твердости близок к алмазу, теплостойкость выше 1200 °С, химически инертный к углероду.

Такое сочетание свойств позволяет применять его при чистовом и тонком точении закаленных сталей, чугунов и других труднообрабатываемых материалов. При этом износостойкость резцов со вставками из эльбора в десять раз превосходит стойкость резцов с пластинками из твердых сплавов и минералокерамики.

Порошки алмаза и эльбора применяют для изготовления шлифовальных кругов, брусков, а также в свободном виде для притирки и полирования.

#### *Металлокерамические твердые сплавы*

Эти сплавы применяют в виде пластинок к режущему инструменту и инструменту для буров при бурении горных пород, а также в виде фильера для волочения.

Некоторые мелкие режущие инструменты (сверла, развертки, фрезы) изготавливают целиком из твердых сплавов.

Металлокерамические твердые сплавы очень тверды (82-92 HRA) и способны сохранять режущую способность до температур 1000-1100°C. Основной составляющей таких сплавов являются карбиды вольфрама, титана, тантала. В качестве связующего применяют кобальт.

#### **Вопросы для самопроверки**

1. Назовите этапы схемы получения изделий из порошков.
2. Перечислите преимущества порошковой металлургии.
3. Как происходят процессы формования и спекания порошков.
4. Назовите виды изделий из металлических порошков.

**Литература:** [1, с. 141 – 149], [3, с. 212 – 214]

#### **Тема 2.5 Сплавы цветных металлов**

Обучающийся должен:

*знать:*

– сплавы на основе меди: свойства, классификацию, маркировку, применение;

– сплавы на основе алюминия: свойства, классификацию, маркировку, применение;

*уметь:*

– проводить отбор материалов с малой плотностью, в зависимости от предъявляемых требований.

Медные сплавы: общая характеристика и классификация, латуни, бронзы. Сплавы на основе алюминия: свойства алюминия; общая характеристика и классификация алюминиевых сплавов. Сплавы на основе магния: свойства магния: общая характеристика и классификация магниевых сплавов. Особенности алюминиевых и магниевых сплавов. Износостойкие сплавы.

#### **Методические указания**

*Медь* по применению в промышленности занимает одно из первых мест среди цветных металлов. Высокие пластичность, электро- и теплопроводность, повышенная коррозионная стойкость – ценнейшие свойства меди.

Вследствие высокой электропроводности медь – лучший металл для электромашиностроения, изготовления кабелей и проводов для передачи электроэнергии. Медь является основой в сплавах, широко применяемых во всех отраслях машино- и приборостроения.

На свойства меди влияют примеси и самыми вредными из них являются висмут и свинец. Эти примеси образуют легкоплавкие эвтектики, которые располагаются по границам зерен, поэтому при горячей пластической деформации наблюдается явление красноломкости, а при холодной пластической деформации – хладноломкости вследствие того, что эти эв-

тектики очень хрупкие. Для удаления примесей висмута и свинца при выплавке производят продувку меди воздухом, при этом образующие оксиды вредных примесей переходят в шлак.

В технике используют сплавы меди с цинком, оловом, алюминием, бериллием, кремнием, марганцем, никелем, свинцом.

Легирование меди обеспечивает повышение ее механических, технологических и антифрикционных свойств.

*Сплавы меди с цинком называют латунями и томпаками, все другие ее сплавы, за исключением сплавов с никелем, называют бронзами.*

Изучение медных сплавов начните с латуни. Рассмотрите влияние цинка, а затем влияние различных примесей на свойства латуней. Нужно знать, что латуни термической обработкой не упрочняются. Однофазные латуни можно упрочнить наклепом (нагартовкой). Наклепанные латуни склонны к растрескиванию при пониженных температурах. Детали из латуни, работающие при пониженных температурах, после наклепа подвергают низкотемпературному отжигу при 200 – 250°С.

По сравнению с медью латуни прочнее и тверже, устойчивее к коррозии и обладают жидкотекучестью.

Существуют также *сложные (специальные) латуни*, содержащие железо, марганец, никель, олово, кремний. Массовое содержание легирующих компонентов в специальных латунях не превышает 7 – 9 %. Некоторые специальные латуни по прочности не уступают среднеуглеродистой стали.

По ГОСТу латуни обозначают буквой Л и цифрой, указывающей массовое содержание меди в сплаве в процентах.

Латуни, содержащие до 10 % цинка, называют *томпаком*, свыше 10 до 20 % – *полутомпаком*.

Обозначение легирующих элементов следующее: Ж – железо, Мц – марганец, Н – никель, О – олово, К – кремний, С – свинец. Массовое содержание легирующего элемента указывается цифрами.

*Пример –*

Марка ЛМцЖ55-3-1 обозначает марганцевожелезную латунь, содержащую около 55 % Си, 3 % Мп и 1 % Fe (остальное – цинк).

Легирующие элементы (кроме свинца) увеличивают прочность, но уменьшают пластичность сплавов. Свинец улучшает антифрикционные свойства и обрабатываемость резанием.

Латуни, как и все сплавы цветных металлов, делят на литейные (для фасонного литья) и деформируемые (обрабатываемые прокаткой, прессованием, волочением).

Наклепанные (нагартованные) латуни в присутствии влаги (а также кислорода, аммиака) растрескиваются; для предотвращения этого их отжигают при 250-300 °

Важнейшими *бронзами* являются оловянные, алюминиевые, крем-

нистые, никелевые.

Изучение бронз начните с оловянной бронзы. Прежде всего разберите влияние олова на структуру и свойства бронзы, а затем влияние дополнительных элементов, которые вводят в оловянную бронзу.

*Оловянные бронзы* обладают высокой коррозионной стойкостью, жидкотекучестью и повышенными антифрикционными свойствами. Из них изготавливают главным образом отливки.

По ГОСТу оловянные бронзы маркируются буквами БрО и цифрой, показывающей массовое содержание олова; последующие буквы и цифры показывают наличие и массовое содержание в бронзе дополнительных элементов, для обозначения которых применяют те же буквы, что и при маркировке специальных латуней (ГОСТ 5017 – 74). Кроме того, цинк обозначают буквой Ц, а фосфор – Ф.

*Пример –*

Марка БрОЦС6-6-3 обозначает оловянно – цинково-свинцовую бронзу, содержащую около 6 % Sn, 6 % Zn и 2 % Pb (остальное – медь).

Цинк повышает жидкотекучесть бронз, плотность отливок, их прочность, улучшает свариваемость. Свинец улучшает антифрикционные свойства, обрабатываемость резанием. Никель способствует повышению коррозионной стойкости и прочности.

В *алюминиевых бронзах* содержится до 11 % Al. По структуре эта бронза в основном (до 9,7% Al) однофазная и представляет собой твердый раствор алюминия в меди. Она устойчива к коррозии, износу, более пластична, чем оловянная бронза; недостатком является большая литейная усадка (2,3 %) и пониженная жидкотекучесть. Добавка к алюминиевой бронзе железа, марганца еще больше повышает ее механические свойства (ГОСТ 18175 – 78).

*Пример –*

Алюминиево – железо – марганцевая бронза БрАЖМц10-3-1,5 имеет предел прочности  $\sigma_B = 500$  МПа;  $\delta = 12$  %.

*Кремнистая бронза* содержит 2-3 % Si и относится к однофазным сплавам – твердым растворам, является литейной, имеет высокую прочность и успешно заменяет во многих случаях оловянную бронзу; ее свойства улучшают добавками марганца, никеля и др.

*Медно-никелевые сплавы* маркируются буквой М, а по легирующим элементам как бронзы:

- константан МНМц40-1,5 имеет большое электрическое сопротивление и применяется в виде проволоки и лент в реостатах, электроизмерительных приборах;

- мельхиор МНЖМц30-1-1 имеет высокую коррозионную стойкость, применяется для теплообменных аппаратов, работающих в морской воде;

- монель – металл НМЖМц29-2,5-1,5 – сплав на основе никеля, от-

личается высокой коррозионной стойкостью в агрессивных средах, широко применяется в судостроении, электротехнике и других отраслях промышленности.

Особое внимание обратите на *бериллиевую бронзу*, которая обладает редким сочетанием свойств: высокой прочностью, твердостью и упругостью при хорошей коррозионной стойкости. Бериллиевая бронза БрБ2 содержит в среднем 2 % Be. Бронза БрБНТ1,9 содержит также добавки никеля и титана (0,2—0,4 % Ni; 0,1—0,25 % Ti). Запомните, что бериллиевая бронза приобретает твердость не сразу после закалки, а при последующем старении. Из них изготавливают пружины, пружинящие контакты, мембраны и др. (ГОСТ 18175 – 78). Высокая твердость позволяет использовать эту бронзу для ударного инструмента, особенно в тех случаях, когда недопустимо искрообразование (производство взрывчатых веществ, взрывоопасные горные работы и др.).

*Алюминий* – легкий металл, обладает высокой пластичностью, хорошей электропроводностью, стойкостью против азотной и органических кислот, однако разрушается щелочами, соляной и серной кислотами; на воздухе он устойчив против коррозии, так как на поверхности его имеется плотная оксидная пленка, изолирующая внутренние слои от действия атмосферы. Для алюминиевых сплавов характерна малая плотность (до 2,85 г/см<sup>3</sup>) при удельной прочности ( $\sigma_{в}/\gamma$ ), которая для некоторых марок близка к прочности высокопрочных сталей.

Из сплавов на основе алюминия получили распространение сплавы с медью, марганцем, кремнием. Для повышения прочности, коррозионной стойкости, жаропрочности алюминиевых сплавов используют литий, никель, титан, бериллий.

Алюминиевые сплавы делятся на две большие группы: деформируемые и литейные. При изучении деформируемых сплавов главное внимание обратите на сплавы алюминия с медью, упрочняемые термической обработкой, – *дюралюмины* (Д1, Д16). Упрочнение отливок из алюминиевых сплавов производят закалкой и старением; внутренние напряжения в отливках из этих сплавов снимают отжигом. Основными компонентами, упрочняющими дюралюмин после термической обработки, являются медь, магний и марганец..

Дюралюмин широко применяют в промышленности, особенно в авиационной и ракетной.

Алюминиевые литейные сплавы содержат чаще всего кремний, медь и магний.

*Сплавы алюминия с кремнием*, называются *силуминами*. Силумины жидкотекучи, имеют малую усадку, их состав близок к эвтектическому (марки АЛ2, АЛ9, АЛ4). Упрочнение их достигается модифицированием, состоящим в добавке к расплавленному силумину модификаторов – натрия или смеси фтористых солей натрия и калия. Небольшая (0,01 %) присадка

натрия резко меняет структуру силумина: зерна становятся мелкими, а излом бархатистым на вид.

*Сплавы алюминия с магнием* для литья содержат 4,5 – 11 % Mg. Эти сплавы прочные, коррозионно – стойкие (например, сплав АЛ8).

Нужно знать маркировку алюминиевых сплавов. Запомните, что в отличие от железных и медных сплавов маркировка легких сплавов (алюминиевых, магниевых, титановых) не раскрывает их состава.

*Износостойкие сплавы.* Рассмотрите группу антифрикционных сплавов. Они применяются для изготовления деталей трущихся поверхностей механизмов и машин. Трение происходит в подшипниках между вкладышем подшипника и трущейся деталью (оси, валы). Для вкладышей подшипников должен быть подобран такой материал, который предохранит бы от износа вал, сам минимально изнашивался, создавал условия для нормальной смазки, и облегчал работу трущегося узла, т. е. уменьшал коэффициент трения.

Исходя из условий работы подшипника, подшипниковый материал должен представлять собой сочетание достаточно прочной, относительно пластичной и вязкой основы, в которой должны быть твердые опорные включения. При этих условиях изнашивается пластичная основа, вал в основном лежит на твердых опорных включениях и, следовательно, трение будет идти не по всей поверхности подшипника, смазка будет удерживаться в изнашивающихся местах пластичной основы. Схематические условия, создающиеся при работе вала с вкладышем, имеющим такую структуру, показаны на рисунке 2.1.

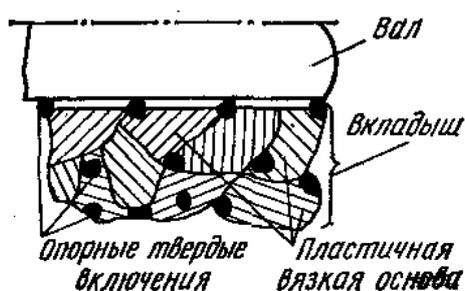


Рисунок 2.1 – Схема работы вала с вкладышем

Обратите внимание на то, что основа сплава не должна быть слишком мягкой, иначе из-за давления на подшипник материал вкладыша будет просто выдавливаться, наволакиваться на вал и т. д., твердые включения не будут удерживаться основной массой, и такой материал не будет пригоден для работы. Количество твердых включений также не должно быть слишком велико, иначе подшипник будет плохо прирабатываться. Под давлением вала твердые частицы будут ломаться, осколки, попадая между валом и вкладышем, будут действовать как абразив, царапая вал. При значительных количествах твердой фазы сам вкладыш будет разрушаться.

Следовательно, для подшипников применимы не однофазные, а многофазные сплавы. Такими сплавами являются сплавы на основе олова или свинца (так называемые *баббиты*), меди, алюминия, цинка, а также антифрикционные чугуны и металлокерамические подшипниковые материалы.

*Баббиты* обозначают буквой Б, справа от которой ставится цифра, показывающая процент олова или буква, характеризующая специальный элемент, входящий в сплав. Например, Б83, Б16, Б6 означает, что в эти баббиты входит соответственно 83, 16 и 6 % олова. БН означает, что в сплав вводится никель, БТ – теллур, т. е. обозначение носит условный характер, не показывая полностью состав сплава.

*Оловянные и свинцовые баббиты.* Олово имеет температуру плавления 232 °С, твердость НВ 5;  $\sigma = 24,5$  МПа;  $\delta = 40$  %,  $\Psi = 100$  %. Свинец еще менее прочный и более мягкий и пластичный металл:  $\sigma = 18$  МПа, твердость НВ 4,  $\delta = 45$  %,  $\Psi = 100$  %.

Для того, чтобы на основе олова, можно было получить антифрикционный сплав, надо ввести элементы, которые упрочнили бы само олово, так как оно слишком мягко и непрочное, и образовали бы твердые включения. Для этой цели к олову добавляют *сурьму и медь*.

При содержании более 7,5 % Sb в структуре образуется химическое соединение  $SbSn$  с высокой твердостью. Таким образом, сурьма упрочняет основу оловянных антифрикционных сплавов и создает опорные включения высокой твердости в виде химических соединений.

Вводимые в некоторые баббиты никель (марка БН) и теллур (марка БТ) улучшают форму включений и измельчают структуру.

Свинцовые баббиты применяют в самых различных отраслях машиностроения: марки БН – для подшипников тракторных и автомобильных двигателей, паровых турбин, центробежных насосов и т. д.; БТ – для коренных и шатунных подшипников тракторных и автомобильных двигателей; Б16 – для компрессоров, вакуум – насосов, подъемных машин, подшипников трамваев и т. д.; Б6 – для подшипников нефтяных двигателей, металлообрабатывающих станков, трансмиссий, вентиляторов, насосов и т. д.

Нашли применение также баббиты, состоящие почти из одного свинца, в которые вводят незначительное количество щелочноземельных элементов (марки БКА и БК2). Они более хрупки, чем оловянно – свинцовые, поэтому их применяют при меньших удельных давлениях, главным образом, в подшипниках железнодорожных вагонов.

*Подшипниковые сплавы основе на медной основе.* Для изготовления вкладышей подшипников, работающих при повышенном удельном давлении и больших скоростях, применяют свинцовую бронзу БрС30 с содержанием 27 – 33 % Pb, остальное Si. Свинец практически не растворяется в меди в жидком состоянии, поэтому при затвердевании такой механиче-

ской смеси жидких фаз получается также механическая смесь твердых фаз свинца и меди. Теплопроводность бронзы БрСЗО высокая, следовательно, подшипники меньше нагреваются, высокие механические свойства при нагреве сохраняются до сравнительно высоких температур (200 °С), поэтому ее применяют для вкладышей подшипников наиболее мощных двигателей.

*Подшипниковые сплавы на основе алюминия.* Антифрикционными сплавами на основе алюминия являются сплавы: АН2,5 (2,7 – 3,4 % Ni), Алькусин Д (7,5 – 9,5 Си; 1,5 – 2,5 % Si). В этих сплавах мягкая основа – твердые растворы алюминия с элементами, входящими в данный сплав, а твердые включения – химические соединения, находящиеся в эвтектике с твердым раствором. Антифрикционные алюминиевые сплавы имеют высокую теплопроводность, что ценно для подшипников. Твердость алюминиевых сплавов выше, чем баббитов, поэтому их можно применять только в паре с твердыми валами (азотированные шейки валов, поверхностно закаленные шейки валов и т. д.).

*Подшипниковые сплавы на основе цинка.* Цинковые подшипниковые сплавы содержат 8 – 12 % Al, 1 – 5,5 % Си, 0,03 – 0,06 % Mg, остальное цинк (ЦАМ10-5, ЦАМ9-1.5). По свойствам эти сплавы равноценны свинцовым баббитам, и их применяют в подшипниках металлорежущих станков, прессов и т. д.

*Хромовая сталь* с массовым содержанием 0,95 – 1,15 % С и 0,4 – 1,65 Cr образует группу высококачественных шарикоподшипниковых сталей (ГОСТ 801-78) ШХ6, ШХ9, ШХ15, ШХ15СГ (цифра указывает среднее массовое содержание хрома в десятых долях процента). Являясь заэвтектоидными, эти стали после закалки и низкого отпуска высокую твердость (HRC 62 – 65) и износоустойчивость, необходимую для того, чтобы противостоять сложным сосредоточенным и переменным напряжениям, возникающим в зоне контакта шариков или роликов с беговыми дорожками колец подшипников качения. Эти стали используют также для деталей насосов высокого давления, храповых механизмов, нагруженных роликов машин, пальцев, копиров и др. Прецизионные подшипники изготавливают из сталей вакуумно – дугового переплава ШХ15Ц1, ШХ15 – ШД. Для изготовления крупных подшипников используют цементируемые и цианируемые стали марок 20Х2Н4-Ш, 20Х3Г2Ф, 18ХГТ. Для подшипников, работающих в агрессивных средах, применяют коррозионно – стойкие стали марок 12Х13, 20Х13 и др.

Рассмотрите *антифрикционный чугуны*. В качестве антифрикционных подшипниковых материалов применяют легированные серые, высокопрочные и ковкие чугуны. Металлическая основа таких чугунов является в основном перлитной или перлитно – ферритной. Буквы в марках таких чугунов означают: А – антифрикционный, Ч – чугун, С – серый, В – высокопрочный, К – ковкий. Разберите области применения таких чугунов.

Для изготовления подшипников скольжения, вкладышей, втулок, уплотнителей все более широкое применение находят *спеченные антифрикционные материалы*. Эти материалы характеризуются низким коэффициентом трения, высокой износоустойчивостью и хорошей прирабатываемостью.

Относительная пористость этих материалов (18-25 %) обеспечивает необходимую маслоспитываемость. Спеченными антифрикционными материалами являются *железографит, железнографит – медь, железо – медь, бронзографит*.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Что такое латуни и бронзы?
2. Как влияет содержание цинка на свойства латуней?
3. В чем недостаток нагартованных латуней?
4. При каком содержании олова оловянные бронзы применяют в качестве антифрикционных сплавов?
5. Расшифруйте сплав ЛТ96 и БрАЖН 10-4-4. Укажите их свойства и область применения.
6. Укажите область применения бериллиевой бронзы.
7. Перечислите свойства алюминия.
8. Как классифицируются алюминиевые сплавы?
9. Какие сплавы упрочняются путем термической обработки?
10. Какие вы знаете литейные алюминиевые сплавы?
11. Где применяются антифрикционные сплавы?
12. Назовите область применения оловянных и свинцовых баббитов.

**Литература:** [1, с. 113 – 116, 131 – 135]; [3, с. 140 – 143, 169 – 172]

### **Тема 2.6 Композиционные материалы**

Обучающийся должен:

*знать:*

– классификацию и основные характеристики композиционных материалов.

Композиционные материалы с металлической матрицей. Их свойства, применение. Способы их получения. Композиционные материалы с неметаллической матрицей. Состав, классификация. Перспективы развития композиционных материалов.

### **Методические указания**

Композиционные материалы (композиты) состоят из химически разнородных компонентов, нерастворимых друг в друге и связанных между собой в результате адгезии.

*Адгезия* (от латинского – прилипание) сцепление поверхностей

разнородных тел. Достигается при нанесении гальванических и лакокрасочных покрытий, склеивании, сварке, а также при образовании поверхностных пленок (например окисных, сульфидных).

Основой композитов является пластическая матрица, которая связывает наполнители, определяет форму изделия, его монолитность, теплофизические, электро- и радиотехнические свойства, герметичность, химическую стойкость, а также распределение напряжений между наполнителями.

В качестве матрицы применяют металлы (алюминий, магний, их сплавы), полимеры (эпоксидные, фенолформальдегидные смолы, полиамиды), керамические, углеродные материалы.

Наполнители чаще всего играют роль упрочнителей, воспринимают основную долю нагрузки и определяют модуль упругости и твердость композита, а иногда также фрикционные, магнитные, теплофизические и электрические свойства.

Наполнителями служат тонкая (диаметром несколько микрометров) проволока из высокопрочной стали, вольфрама, титана, а также стеклянные, полиамидные, углеродные, боридные волокна и волокна на основе нитевидных кристаллов (оксидов, карбидов, боридов, нитридов) и др.

По структуре наполнителя композиционные материалы подразделяют:

- на волокнистые (армированы волокнами и нитевидными кристаллами);
- слоистые (армированы пленками, пластинками, слоистыми наполнителями);
- дисперсноармированные и дисперсноупрочненные (с наполнителем в виде тонкодисперсных частиц).

Композиты получают пропиткой наполнителей матричным раствором, нанесением материала матрицы на волокна плазменным напылением, электрохимическим способом, введением тугоплавких наполнителей в расплавленный материал матрицы, прессованием, спеканием.

Для композитов характерны высокая прочность, жесткость и вязкость, а также коррозионная стойкость, жаропрочность и термическая стабильность.

К композитам (композиционным пластмассам) принято также относить пластмассы с армирующими наполнителями (стеклопластики, углепластики, боропластики, органопластики и др.).

Композиты с полимерными матрицами используют в автомобиле-, авиа-, судостроении (детали шасси, кузовов, трансмиссионные валы вертолетов, гребные винты, лопасти компрессоров), для деталей химической аппаратуры и криогенной техники (трубы, емкости для реактивов), для вычислительных машин.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Что такое композиты?
2. Как подразделяют композиты в зависимости от формы и размеров наполнителя?
3. Как подразделяют композиты по виду матрицы?
4. От чего зависят механические свойства композитов?
5. Какие композиционные материалы используют для работы при высоких температурах (жаропрочные)?

**Литература:** [1, с. 174 – 175]

## **Тема 2.7. Неметаллические материалы**

Обучающийся должен:

*иметь представление:*

- о разновидностях неметаллических материалов;
- о свойствах неметаллических материалов;
- о перспективах их применения в технике;

*знать:*

– основные виды и свойства неметаллических материалов, применяемых в промышленности.

Неметаллические материалы, их классификация, свойства, достоинства и недостатки, применение в промышленности.

Пластмассы. Простые и термопластичные пластмассы: полиэтилен, полистирол, полихлорвинил, фторопласты и др. Сложные пластмассы: гетинакс, текстолит, стеклотекстолит. Каучук. Процесс вулканизации. Материалы на основе резины. Состав и общие свойства стекла. Ситаллы: структура и применение. Древесина, ее основные свойства. Разновидности древесных материалов.

### **Методические указания**

В основе неметаллических материалов лежат полимеры. Обратите внимание на особенности строения полимеров, которые определяют их механические и физико – химические свойства. Классификацию полимеров рассмотрите с учетом особенностей их состава и строения.

*Пластические массы* – искусственные материалы, получаемые на основе органических полимерных связывающих веществ, которые являются обязательными компонентами пластмасс. Изучите различные группы пластических масс, их свойства и области применения.

Как технический материал *резина* отличается от других материалов высокими эластичными свойствами, что связано со свойствами самой основы резины – каучука. Уясните состав резины, способы получения и влияние различных добавок на ее свойства. Изучите процесс вулканизации резины. Подробно рассмотрите влияние порошковых и органических наполнителей на свойства резины, изучите физико – механические свойства и области применения резин различных марок.

Поскольку большинство неорганических материалов содержит различные соединения кремния с другими элементами, эти материалы получили общее название силикатных материалов. Обратите внимание на внутреннее строение *неорганического стекла*. Уясните сущность стеклообразного состояния как разновидности аморфного состояния вещества. Рассмотрите стеклокристаллические материалы (ситаллы) и их отличие от стекла минерального. Уясните причины образования кристаллической структуры ситаллов.

Ознакомьтесь со строением *древесины*, ее достоинствами и недостатками как конструкционного материала. Изучите основные методы повышения качества древесины, а также способы получения древесно – слоистых материалов (шпона, фанеры) и древесностружечных плит и т.п.

#### **Вопросы для самопроверки**

1. Что лежит в основе классификации полимеров?
2. Какие материалы относятся к обратимым и необратимым полимерам?
3. Какие вы знаете наполнители пластмасс?
4. Для чего вводят в пластмассы отвердители?
5. Укажите область применения термопластов и реактопластов.
6. В чем преимущества пластмасс по сравнению с металлическими материалами? Каковы их недостатки?
7. Что представляет собой резина?
8. Объясните роль порошковых наполнителей.
9. В каких случаях применяются волокнистые наполнители.
10. Какие силикатные материалы относятся к минеральному стеклу? Их отличительные свойства.
11. Как достигаются электроизоляционные или электропроводящие свойства стекла?
12. Объясните причины, вызывающие кристаллизацию ситаллов (стеклокристаллитов).
13. Укажите область применения ситаллов.
14. Укажите основные достоинства и недостатки древесины как конструкционного материала.
15. Перечислите способы повышения качества древесины.

**Литература:** [1, с. 157 – 187]; [3, с. 214 – 243]

#### **Тема 2.8 Коррозия металлов и меры борьбы с ней**

Обучающийся должен:

*иметь представление:*

- о разновидностях коррозии;
- о свойствах коррозионностойких материалов;
- о свойствах жаростойких материалов;
- о свойствах жаропрочных материалов;

– о перспективах их применения в технике;

*знать:*

– основные виды и свойства коррозионостойких, жаростойких материалов, применяемых в промышленности.

Сущность процесса коррозии. Виды коррозии: химическая и электрохимическая коррозия. Способы защиты металлов от коррозии. Экономический ущерб от коррозии. Коррозионностойкие материалы, их свойства, маркировка, применение. Жаростойкие и жаропрочные материалы, их свойства, маркировка, применение.

### **Методические указания**

Разрушение металла под воздействием окружающей среды называется коррозией.

Коррозия помимо уничтожения металла отрицательно влияет на эксплуатационные свойства деталей, содействуя всем видам разрушения.

Коррозия в зависимости от характера окружающей среды может быть химической и электрохимической.

Коррозионностойкие стали и сплавы обладают достаточной стойкостью против коррозии только в ограниченном числе сред. Они обязательно имеют в своем составе более 12,5%Cr, роль которого состоит в образовании на поверхности изделия защитной (пассивной) оксидной пленки, прерывающей контакт с агрессивной средой. При этом лучшей стойкостью против коррозии обладают те стали и сплавы, в которых все содержание хрома приходится на долю твердого раствора. Содержание углерода должно быть низким, чтобы уменьшить переход хрома в карбиды, так как это может уменьшить концентрацию хрома в защитной пленке. Для предотвращения выделений карбидов хрома используют также быстрое охлаждение из области  $\gamma$ -твердого раствора или легирование титаном, ванадием, ниобием или цирконием для связывания углерода в более устойчивые карбиды.

Жаропрочными называют стали и сплавы, способные работать под напряжением при высоких температурах в течение определенного времени и обладающие при этом достаточной жаростойкостью.

Жаропрочные стали благодаря невысокой стоимости широко применяются в высокотемпературной технике, их рабочая температура 500-750°C. Механические свойства сталей перлитного класса (12К, 15К, 18К, 22К, 12Х1МФ):  $\sigma_{\text{в}}=360 - 490\text{МПа}$ ,  $\sigma_{0.2}=220 - 280\text{МПа}$ . Чем больше в стали углерода, тем выше прочность и ниже пластичность.

Жаростойкость (окалиностойкость) стали характеризуется сопротивлением окислению при высоких температурах. Для повышения окалиностойкости сталь легируют элементами, которые изменяют состав и строение окалины. В результате введения в сталь необходимого количества хрома (Cr) или кремния (Si), обладающих большим родством с кислородом (O), чем железо (Fe), в процессе окисления на поверхности образуются плотные оксиды на основе хрома или кремния. Образовывающаяся тонкая плёнка из этих ок-

сидов затрудняет процесс дальнейшего окисления. Чтобы обеспечить окалиностойкость до температуры 1100°C в стали должно быть не менее 28% хрома (например сталь 15X28). Наилучшие результаты получаются при одновременном легировании стали хромом и кремнием.

#### **Вопросы для самоконтроля.**

- 1 Что называется коррозией?
- 2 Какие виды коррозии существуют?
- 3 Что такое электрохимическая коррозия?
- 4 Что такое химическая коррозия?
- 5 Чем характеризуются коррозионностойкие стали, как маркируются?
- 6 Чем характеризуются жаростойкие стали, как маркируются?
- 7 Чем характеризуются жаропрочные стали, как маркируются?

*Литература:* [1, с. 224-239], [2, с. 120-181].

### **Раздел 3. Литейное производство**

#### **Тема 3.1. Изготовление отливок в песчаных формах. Специальные формы литья.**

Обучающийся должен:

*иметь представление:*

- о процессе получения отливки;
- о процессах изготовления форм на машинах;
- о мероприятиях по охране окружающей среды;

*знать:*

- назначение и сущность литейного производства;
- литейную форму и ее элементы;
- особенности заливки форм металлом.

Сущность литейного производства. Технологический процесс получения отливок: в разовые формы и ручной или машинной формовкой. Дефекты в отливках. Специальные виды литья. Применяемое оборудование. Мероприятия по охране труда и окружающей среды в литейном производстве.

#### **Методические указания**

Основная продукция литейного производства – сложные (фасонные) заготовки деталей, называемые отливками. Их получают заливкой расплавленного металла в литейную форму, внутренняя рабочая полость которой имеет конфигурацию отливки. После затвердевания и охлаждения отливку извлекают из литейной формы. При этом форму разрушают (разовая литейная форма) или разбирают на части для повторного использования (многократная литейная форма).

Отливки получают литьем в песчаную литейную форму, в оболочковую литейную форму, по выплавляемым моделям, в кокиль, под давлением, центробежным литьем и другими способами. Выбор способа литья

определяется его технологическими возможностями и технико-экономическими показателями.

Основное достоинство формообразования заготовок литьем, которое выгодно отличает его от других методов формообразования заготовок, – возможность получения разнообразных по массе заготовок практически любой сложности непосредственно из жидкого металла.

Изучите основные литейные свойства сплавов: жидкотекучесть, усадку, склонность к трещинообразованию и газопоглощению, ликвацию. Запомните, к каким дефектам приводят низкие показатели литейных свойств и какие технологические меры используют для предупреждения образования дефектов.

Разберите способы литья: изготовление отливок в песчаных литейных формах, изготовление отливок литьем в оболочковые формы, изготовление отливок литьем по выплавляемым моделям, изготовление отливок литьем, в кокиль, изготовление отливок литьем, под давлением, изготовление отливок центробежным литьем.

Изучите основы конструирования отливок с учетом литейных свойств сплавов и способов изготовления отливок.

Технический контроль ведут на всех стадиях изготовления отливок, начиная с приготовления формовочных и стержневых смесей, изготовления литейной оснастки, форм и стержней. Виды брака отливок: газовые, песчаные и усадочные раковины, горячие и холодные трещины, спал, недоливы. Уясните причины их образования и методы предупреждения. Ознакомьтесь с современными методами контроля в литейном производстве.

### **Вопросы для самопроверки**

1. В чем состоит сущность литейного производства?
2. Какие способы применяются для получения отливок?
3. Перечислите элементы литейной формы.
4. Какие требования предъявляются к формовочным смесям?
5. Назовите элементы литниковой системы.
6. В чем состоят достоинства чугуна как литейного материала?
7. Назовите способы выбивки стержней из отливки.
8. Назовите основные способы очистки отливок.
9. Перечислите основные меры предупреждения брака в отливках.
10. В чем состоят достоинства литья в металлические формы (кокили)?
11. Какие машины применяют для центробежного литья?
12. Для каких сплавов применяется центробежное литье?
13. Каковы достоинства и недостатки литья под давлением?
14. Перечислите основные операции для получения отливок по выплавляемым моделям?

15. Для каких отливок целесообразно применять способ литья в оболочковые формы?

*Литература:* [1, с. 224-239], [2, с. 120-181].

## **Раздел 4. Обработка металлов давлением**

**Тема 4.1.** Прокатка, прессование, волочение. Ковка, штамповка.

Обучающийся должен:

*иметь представление:*

- о сущности процессов обработки металлов давлением;
- о технике безопасности и пожарной безопасности при обработке металлов давлением;

*знать:*

- определение деформации и ее виды;
- технико-экономические показатели применения различных видов обработки металлов давлением.

Сущность процесса обработки давлением. Нагрев металла и нагревательные устройства. Виды обработки давлением. Прокатное производство. Продукция прокатного производства. Волочение металла. Прессование металла и способы прессования. Ковка. Горячая объемная штамповка. Холодная штамповка.

### **Методические указания**

Обработке металлов давлением подвергают более 90 % выплавляемой стали и большую часть цветных металлов и сплавов. При этом получают изделия, различные по значению, массе, сложности, причем не только в виде заготовок для последующей механической обработки, но и готовые детали с высокой точностью и низкой шероховатостью.

Процессы обработки давлением очень разнообразны. Обычно их объединяют в шесть видов: прокатка, прессование и волочение – для получения изделий постоянного поперечного сечения по длине; ковка, объемная штамповка и листовая штамповка – для получения деталей или заготовок, имеющих форму, приближенную к форме готовых изделий. Разберите их. Изучая виды обработки металлов давлением, особое внимание следует уделить технологическим возможностям и областям их применения. Пластическим деформированием получают изделия с высокой производительностью, малыми отходами, возможностью повышения механических свойств металла.

При изучении отдельных видов обработки давлением обращайтесь внимание на применяемое оборудование, преимущества и недостатки каждого способа, и область его применения.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Какая деформация называется пластической?

2. Как выбирают температуру для холодной и горячей обработки давлением?

3. Какое оборудование применяется для нагрева заготовок при горячей обработке давлением?

*Литература:* [1, с. 239-245]; [2, с. 53-61].

## **Раздел 5. Сварка, резка, пайка и наплавка металлов**

### **Тема 5.1 Общие сведения о сварке. Электродуговая сварка. Электроконтактная сварка.**

Студент должен:

*иметь представление:*

- о способах получения неразъемных соединений;
- о точности и прочности неразъемных соединений;

*знать:*

- определение неразъемного соединения;
- общие сведения о сварке и ее виды.

Кристаллизация соединений, выполняемых при сборке машин и механизмов. Методы осуществления разъемных соединений. Требования, предъявляемые к разъемным соединениям. Методы осуществления неразъемных соединений. Требования, предъявляемые к разъемным соединениям, инструмент, приспособления и оборудование, применяемые для получения разъемных и неразъемных соединений.

#### **Методические указания**

В начале изучения темы следует выяснить основные методы осуществления разъемных и неразъемных соединений. Сварка в настоящее время является одним из основных технологических процессов формирования неразъемных соединений во всех отраслях промышленности. Без сварки невозможно производство и ремонт современных машин. Применяются разнообразные способы сварки, которые обеспечивают высокое качество конструкций, разрешают, ускорить процесс их изготовления, уменьшить расход металла и снизить себестоимость.

Сварка – это процесс получения неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между соединяемыми частями при их нагревании и (или) пластическом деформировании.

Сварочные процессы применяют для изготовления сварных конструкций из металлов, сплавов, керамики, пластмасс, исправления брака в отливках и восстановления поломанных и изношенных изделий. Сваривают между собой как однородные металлы, так и разнородные, например, медь с алюминием, а также металлы с неметаллами – керамикой, стеклом, керметами и другими материалами.

Надо познакомиться с ролью русских ученых В. В. Петрова, Н. Н. Бенардоса, Н.Г.Славянова в открытии и развитии электрической сварки.

Следует изучить физическую сущность процессов, протекающих при сварке. Затем разобрать классификацию способов сварки и основные виды сварных соединений. Надо знать, какготавливаются кромки сварных соединений, и в каких случаях, какой вид сварного соединения наиболее целесообразно применять. После этого переходите к изучению основных видов сварки.

Электрическая дуговая, сварка по распространению занимает первое место среди других видов сварки. Следует ознакомиться со сваркой по способу Бенардоса, когда применяется графитовый электрод. И со способом Славянова, где применяют металлические электроды; этим способом в настоящее время выполняется - 99% работ. Дуговая сварка возможна при постоянном и переменном токах. Надо ознакомиться с аппаратурой для сварки. Затем разобраться с электродами для дуговой сварки. Неплавящиеся электроды могут быть угольными, графитовыми и вольфрамовыми. Угольными и графитовыми электродами пользуются при сварке на постоянном токе.

Разберите достоинства и недостатки сварки на постоянном и переменном токе и область их применения, а также способы увеличения производительности труда ручной электродуговой сварки.

Автоматическая сварка под слоем флюса увеличивает производительность сварки в 5-10 раз по сравнению с ручной дуговой и обеспечивает получение однородного качественного шва.

Дуговая сварка в среде защитных газов - углекислом, аргоне, гелии - обеспечивает хорошую защиту от воздействия кислорода и азота воздуха, лучшее использование тепла дуги, поддается механизации и автоматизации.

Резкой с использованием электрической дуги разделяют металл расплавлением, а не выжиганием. Этот способ применяют для резки углеродистой и легированной стали, чугуна, алюминия, меди и их сплавов, отделение прибылей отливок.

Дуговая резка производится угольными или металлическими электродами.

Контактная сварка – наиболее механизированный, и высокопроизводительный метод сварки – применяется в крупносерийном и массовом производстве различных деталей, приборов, машин. Контактная сварка, или сварка сопротивлением, основана на использовании тепла, выделяющегося при прохождении электрического тока через зону сварки, где детали находятся в контакте. В зависимости от способа выполнения контактная сварка делится на стыковую, точечную и роликовую. Нужно разобрать каждый способ контактной сварки и область их применения. Нужно знать, из какого материала изготавливают электроды для контактной сварки и требования к ним. Для каждого способа контактной сварки имеются специальные машины. Контактной сваркой хорошо свариваются и такие материалы, кото-

рые при других способах сварки не дают качественного шва. Наибольшее внимание обратите на точечную сварку, так как она легко автоматизируется, причем одновременно на изделие можно ставить десятки электрозаклепок.

Электрошлаковая сварка – новый, прогрессивный метод, имеющий значительные преимущества перед другими методами сварки стальных конструкций большой толщины.

Рассмотрите схему электрошлаковой сварки.

Газовая сварка отличается дешевизной и простотой оборудования. Сущность процесса газовой сварки - расплавление кромок свариваемых деталей и вводимого присадочного материала теплом горячей газовой смеси. Необходимое для сварки тепло, получается от сжигания в струе кислорода горючего газа, ацетилена, водорода, природного газа, а также паров бензина, бензола. В промышленности при сварке деталей и узлов из различных сортов стали и цветных металлов широко применяется ацетиленокислородная сварка.

Следует знать свойства газов, изучить строение ацетиленокислородного пламени, состав газов и температуру во всех зонах. Надо ознакомиться со сварочной аппаратурой и принадлежностями для сварки. Надо знать горелки, принцип их действия и от чего зависит выбор той или иной горелки.

Сварочная горелка - это прибор для смешивания ацетилена с кислородом и получения устойчивого концентрированного сварочного пламени. Горелки делятся на две группы: инжекторные, или горелки низкого давления, и безинжекторные, или горелки среднего и высокого давления. Следует ознакомиться с их устройством и работой.

После этого подробно разберите технологию газовой сварки, обратите внимание на, выбор присадочного материала. Запишите особенности газовой сварки чугунов, легированных сталей и цветных металлов, соотношение между кислородом и ацетиленом при сварке различных металлов,

Газовая резка основана на способности нагретого металла гореть в струе кислорода. Резать можно только те металлы, у которых температура горения ниже температуры плавления, например, железо, углеродистую сталь с содержанием углерода до 0,7%, низколегированную сталь. Следует ознакомиться с устройством газового резака. Он отличается от газовой горелки тем, что, кроме устройства для смешивания горючего газа с кислородом, имеет дополнительное приспособление для подвода режущей струи кислорода.

Следует знать сущность и область применения новых способов сварки: холодной, сварки давлением, сварки трением, ультразвуковой сварки, электронным лучом и лазером.

Холодная сварка давлением производится на специальных прессах без, подогрева, под большим давлением. В результате пластической деформации атомы соединяемых деталей сближаются на такое расстояние, на котором они находятся внутри металла. Свариваемые поверхности должны быть тщательно очищены и обезжирены. Этим способом сваривают листы, тонкостенные трубы, провода и другие изделия из высокопластичных материалов (алюминия, меди, титана и др.).

Сварка трением основана на том, что в результате трения вращающейся детали относительно неподвижной (или вращения обеих деталей) повышается температура, металл достигает пластического состояния, при сдавливании сваривается. Этим способом можно сваривать однородные и разнородные материалы (бронза - сталь, медь - сталь и др.).

Его достоинства: нагреваются только тонкие поверхностные слои металла, простота оборудования, возможность автоматизации, незначительное потребление энергии, прочность получаемых соединений. Для сварки трением имеются специальные машины, но при их отсутствии можно использовать токарные или фрезерные станки.

При сварке ультразвуком неразъемное соединение получается в результате совместного действия механических колебаний высокой частоты и относительно небольших сжимающих усилий. Под действием ультразвука разрушаются окисные пленки и происходит местный микронагрев, пластическая деформация микровыступов и усиленная диффузия между поверхностями. В зоне контакта кристаллы срастаются и образуется прочное неразъемное соединение. Источником колебаний при сварке являются ультразвуковые генераторы различной мощности.

Ультразвуковая сварка применяется для сварки изделий из высокопластичных материалов (алюминия, меди, никеля и др.). Этот способ можно применять для сварки разнородных материалов и для неметаллических, материалов.

Сварка электронным лучом производится в вакууме под давлением  $10^{-4}$  -  $10^{-5}$  мм рт. ст., используется для этого кинетическая энергия электронов. Качество шва получается высокое. Этот способ применяется для сварки деталей из тугоплавких (вольфрам, молибден и др.) и легкоокисляемых (бериллий; магний и др.) металлов и их сплавов.

При сварке лазером в специальной установке световая энергия накапливается, фокусируется и направляется на кристалл рубина, который создает монохроматический (одной длины волны) световой луч. Лазерным лучом можно сваривать любые металлы и сплавы, а также керамику, тол-

щина деталей может быть до десятых долей миллиметра. В отличие от сварки электронным лучом, сварку лазером можно производить в любой среде (на воздухе, в среде инертных газов, в вакууме), при этом способе, сварки не нужна защита от излучения, а также значительно меньше размеры оборудования.

Разберите виды брака, встречающиеся при сварке, и методы контроля качества сварных соединений.

Нужно знать, какой метод контроля наиболее целесообразно применять в зависимости от условий работы и назначения деталей, характера сварного шва и ряда других причин.

Следует изучить сварку пластмасс. В настоящее время применяют следующие способы сварки пластмасс: нагретым воздухом или газом, нагретым инструментом, с нагревом токами высокой частоты, ультразвуком, с помощью инфракрасного излучения.

Большое внимание уделите правилам техники безопасности при выполнении сварки и резки.

Широкое применение при ремонте находит метод автоматической наплавки под слоем флюса. Этот метод позволяет получить износостойкий наплавленный слой высокого качества. Автоматической электродуговой наплавкой можно восстанавливать детали с плоскими и цилиндрическими поверхностями. Для последних используют токарный станок с некоторыми изменениями.

Определенным сочетанием марки электродной проволоки и флюса можно получить необходимые свойства наплавленного слоя.

### **Вопросы для самопроверки**

- 1 Какие физические процессы протекают при сварке?
- 2 Перечислите основные методы сварки.
- 3 В чем достоинство сварных соединений перед другими видами неразъемных соединений?
- 4 Какие сварные соединения применяются?
- 5 Укажите материал электродов для электродуговой сварки.
- 6 Какая применяется обмазка электродов при электродуговой сварке?
- 7 Перечислите способы автоматической электродуговой сварки.
- 8 В чем сущность автоматической сварки под слоем флюса?
- 9 Какие защитные газы применяются при электродуговой сварке?
- 10 В чем сущность электрошлаковой сварки?
- 11 Укажите основные способы контактной сварки.
- 12 Какие электроды применяются при контактной сварке?
- 13 В каких случаях применяется роликовая контактная сварка?
- 14 Непостоянства и область применения точечной сварки.
- 15 Укажите виды стыковой сварки и область их применения.

- 16 Какие газы применяются при газовой сварке?
- 17 Какое оборудование применяется при газовой сварке?
- 18 Какой способ сварки наиболее целесообразно применять для сварки чугуна?
- 19 Основные виды брака при сварке и их предупреждение.
- 20 Какие металлы подвергаются газовой резке?
- 21 Сущность и область применения ультразвуковой сварки.
- 22 Область применения холодной сварки давлением.
- 23 Какие способы сварки применяются для сварки разнородных металлов.
- 24 Какими способами можно сваривать пластмассы?

### **Тема 6.3. Обработка металлов резанием**

Обучающийся должен:

*иметь представление:*

- о процессе резания и образования стружки;
- о классификации металлорежущих станков;
- об основных видах работ, выполняемых на металлорежущих станках;

*знать:*

- систему допусков и посадок;
- измерительные приборы и инструменты;
- основные виды и элементы резцов.

Общие вопросы об обработке резанием. Принципы взаимозаменяемости. Понятие о допусках и посадках. Понятие и шероховатости поверхности. Процесс резания металла. Основные части и элементы резца. Понятие о режимах резания. Методы обработки резанием. Классификация металлорежущих станков и их характеристика. Электрические методы обработки металлов.

#### **Методические указания**

Обработка металлов резанием является распространенным технологическим приемом производства деталей машин.

В результате обработки резанием обеспечиваются заданные чертежами форма, размеры, точность и качество поверхности деталей.

При изучении темы необходимо усвоить сущность процесса резания, основные понятия и определения процесса резания металлов.

Нужно знать основные способы обработки металлов резанием: точение, сверление, фрезерование, строгание, долбление, протягивание, резьбонарезание, зубонарезание, шлифование. Особое внимание уделите вопросам скоростного и силового резания. Рассмотрите процесс образования стружки; физические процессы, происходящие при стружкообразовании (наклеп и усадку), типы стружек; влияние различных факторов на ско-

рость резания; наростообразование. Нужно знать, как осуществляются главное движение резания и движение подачи при выполнении различных операций.

Разберите основные виды режущего инструмента, вспомните марки и свойства материалов, идущих на изготовление инструмента.

### **Вопросы для самопроверки**

1. В чем заключается сущность процесса резания?
2. На какие группы подразделяется режущий инструмент?
3. Какими свойствами должны обладать инструментальные материалы?
4. Какие способы обработки металлов резанием существуют?
5. Как происходит процесс образования стружки?
6. Какие виды стружки образуются при обрезке металлов резанием?
7. Объясните явление наклепа и усадки.
8. Как и по каким причинам происходит наростообразование?
9. Что такое элементы режима резания: скорость, подача, глубина, поперечное сечение среза, машинное и штучное время?
10. Какие факторы влияют на скорость резания?
11. Какие силы необходимо преодолеть при резании металлов?
12. По какой формуле определяется максимальное время при обработке резанием?
13. Для чего применяется СОЖ при обработке резанием?

*Литература: [1, с. 191, 280-290]*

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Основная литература:

- 1 Моряков О.С., Материаловедение (по техническим специальностям). – ОИЦ «Академия», 2015
- 2 Черепахин А.А., Материаловедение. – ООО «КноРус», 2013
- 3 Соколова Е.Н., Борисова А.О, Давыденко Л.В., Материаловедение. Лабораторный практикум. – ОИЦ «Академия», 2016
- 4 Солнцев Ю.П., Вологжанина С.А., Материаловедение. – ОИЦ «Академия» 2016
- 5 Бандзеладзе Г.З., Основы материаловедения. – Академия-Медиа, 2014
- 6 Ермолаев В.В., Ильянков А.И., Разработка технологических процессов изготовления деталей машин. – ОИЦ «Академия», 2015
- 7 Черепахин А.А., Технология обработки материалов. – ОИЦ «Академия», 2016

Дополнительная литература:

- 8 Ильянков А.И., Марсов Н.Ю., Основные термины, понятия, и определения в технологии машиностроения. Справочник. – ОИЦ «Академия», 2013
- 9 Лялякин В.П., Слинко Д.Б., Наплавка металлов. – Академия-Медиа, 2015
- 10 Соколова Е.Н., Материаловедение. –ОИЦ "Академия", 2014
- 11 Заплатин В.Н., Основы материаловедения. – Академия-Медиа, 2017
- Моряков О.С., Материаловедение. – Академия-Медиа, 2017