

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет  
им. Г.И. Носова»  
Многопрофильный колледж



**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ  
ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ  
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ  
ОП.04 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**  
программы подготовки специалистов среднего звена  
по специальности СПО  
**22.02.05 Обработка металлов давлением**

Магнитогорск, 2018

## **ОДОБРЕНО**

Предметно-цикловой комиссией  
Обработки металлов давлением  
Председатель: О.В. Шелковникова  
Протокол №6 от 21.02.2018 г.

Методической комиссией МпК  
Протокол №4 от 01.03.2018 г.

## **Разработчик**

О.В. Шелковникова,  
преподаватель МпК ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»  
О.А. Миронова,  
преподаватель МпК ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»

Методические указания разработаны на основе рабочей программы учебной дисциплины «Материаловедение».

## **СОДЕРЖАНИЕ**

1 Введение
2 Методические указания
Лабораторная работа 1
Лабораторная работа 2
Лабораторная работа 3
Лабораторная работа 4
Практическая работа 1
Практическая работа 2
Практическая работа 3
Практическая работа 4
Практическая работа 5
Практическая работа 6
Практическая работа 7
Практическая работа 8

### **1 ВВЕДЕНИЕ.**

Важную часть теоретической и профессиональной практической подготовки студентов составляют практические работы.

Состав и содержание практических работ направлены на реализацию действующего федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования.

Ведущей дидактической целью практических работ является экспериментальное подтверждение и проверка существенных теоретических положений, законов, зависимостей, формирование профессиональных практических умений выполнять определённые операции, необходимые в последующей профессиональной деятельности.

В соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Материаловедение» предусмотрено проведение практических работ.

В результате их выполнения, обучающийся должен:

уметь:

- распознавать и классифицировать конструкционные и сырьевые материалы по внешнему виду, происхождению, свойствам;
- определять виды конструкционных материалов;
- выбирать материалы для конструкций по их назначению и условиям эксплуатации;
- проводить исследования и испытания материалов.

Содержание лабораторных работ ориентировано на подготовку студентов к освоению профессионального модуля основной профессиональной образовательной программы по специальности и овладению профессиональными компетенциями:

ПК 1.1. Планировать производство и организацию технологического процесса в цехе обработки металлов давлением.

ПК 1.2. Планировать грузопотоки продукции по участкам цеха.

ПК 1.3. Координировать производственную деятельность участков цеха с использованием программного обеспечения, компьютерных и коммуникационных средств.

ПК 1.4. Организовывать работу коллектива исполнителей.

ПК 1.5. Использовать программное обеспечение по учету и складированию выпускаемой продукции.

ПК 1.6. Рассчитывать и анализировать показатели эффективности работы участка, цеха.

ПК 1.7. Оформлять техническую документацию на выпускаемую продукцию.

ПК 1.8. Составлять рекламации на получаемые исходные материалы

МК2.1. Выбирать соответствующее оборудование, оснастку и средства механизации для ведения технологического процесса.

ПК 2.2. Проверять исправность и оформлять техническую документацию на технологическое оборудование.

ПК2.3. Производить настройку и профилактику технологического оборудования.

ПК 2.4. Выбирать производственные мощности и топливно-энергетические ресурсы для ведения технологического процесса.

ПК 2.5. Эксплуатировать технологическое оборудование в плановом и аварийном режимах.

ПК 2.6. Производить расчеты энергосиловых параметров оборудования

ПК 3.1. Проверять правильность назначения технологического режима обработки металлов давлением.

ПК 3.2. Осуществлять технологические процессы в плановом и аварийном режимах.

ПК 3.3. Выбирать виды термической обработки для улучшения свойств и качества выпускаемой продукции.

ПК 3.4. Рассчитывать показатели и коэффициенты деформации обработки металлов давлением. ПК 3.5. Рассчитывать калибровку рабочего инструмента и формоизменение выпускаемой продукции.

ПК 3.6. Производить смену сортамента выпускаемой продукции.

ПК 3.7. Осуществлять технологический процесс в плановом режиме, в том числе используя программное обеспечение, компьютерные и телекоммуникационные средства.

ПК 3.8. Оформлять техническую документацию технологического процесса.

ПК 3.9. Применять типовые методики расчета параметров обработки металлов давлением.

ПК 4.1. Выбирать методы контроля, аппаратуру и приборы для контроля качества продукции.

ПК 4.2. Регистрировать и анализировать показатели автоматической системы управления технологическим процессом.

ПК 4.3. Оценивать качество выпускаемой продукции.

ПК 4.4. Предупреждать появление, обнаруживать и устранять возможные дефекты выпускаемой продукции.

ПК 4.5. Оформлять техническую документацию при отделке и контроле выпускаемой продукции.

ПК 5.1. Организовывать и проводить мероприятия по защите работников от негативного воздействия производственной среды.

ПК 5.2. Проводить анализ травмоопасных и вредных факторов на участках цехов обработки металлов давлением.

ПК 5.3. Создавать условия для безопасной работы.

ПК 5.4. Оценивать последствия технологических чрезвычайных ситуаций и стихийных явлений на безопасность работающих.

ПК 5.5. Оказывать первую медицинскую помощь пострадавшим.

А также формированию общих компетенций:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Выполнение студентами лабораторных и практических работ по учебной дисциплине «Материаловедение» направлено на:

- обобщение, систематизацию, углубление, закрепление, развитие и детализацию полученных теоретических знаний по конкретным темам учебной дисциплины;
- формирование умений применять полученные знания на практике, реализацию единства интеллектуальной и практической деятельности;
- формирование и развитие умений: наблюдать, сравнивать, сопоставлять, анализировать, делать выводы и обобщения, самостоятельно вести исследования, пользоваться различными приемами измерений, оформлять результаты в виде таблиц, схем, графиков;
- приобретение навыков работы с различными приборами, аппаратурой, установками и другими техническими средствами для проведения опытов;
- развитие интеллектуальных умений у будущих специалистов: аналитических, проективных, конструктивных и др.;
- выработку при решении поставленных задач профессионально значимых качеств, таких как самостоятельность, ответственность, точность, творческая инициатива.

Продолжительность выполнения лабораторной работы составляет не менее двух академических часов и проводится после соответствующей темы, которая обеспечивает наличие знаний, необходимых для ее выполнения.

## 2 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

### Тема 1.2. Кристаллизация металлов

#### Лабораторная работа № 1

#### Наблюдение с помощью биологического микроскопа за кристаллизацией из раствора соли

**Цель:** - изучение процесса кристаллизации на примере раствора соли.

-углубление, закрепление полученных теоретических знаний по данной теме;

-формирование умений применять полученные знания на практике.

**Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

-развивать умения: наблюдать, сравнивать, сопоставлять, анализировать, делать выводы и обобщения, самостоятельно вести исследования

**Материальное обеспечение:**

1. Биологический микроскоп.
2. Раствор соли.
3. Пробирка.
4. Спиртовка.
5. Пипетка
6. Линейка

**Задание:**

1. Изучить устройство биологического микроскопа и работу на нем
2. Начертить и описать оптическую схему биологического микроскопа
3. Описать процесс кристаллизации соли.
4. Зарисовать строение затвердевающей капли раствора соли.
5. Написать отчет

**Краткие теоретические сведения:**

Существуют два простых способа выращивания кристаллов из раствора: охлаждение насыщенного раствора соли и его выпаривание.

Первым этапом при любом из двух способов является приготовление насыщенного раствора. Можно выращивать кристалл медного купороса или обычной поваренной соли.

Растворимость любых веществ зависит от температуры. Обычно с повышением температуры растворимость увеличивается, а с понижением температуры уменьшается.

При охлаждении горячего (примерно 40°C) насыщенного раствора до 20°C в нем окажется избыточное количества соли на 100 г воды. При отсутствии

центров кристаллизации это вещество может оставаться в растворе, т.е. раствор будет пересыщенным.

С появлением центров кристаллизации избыток вещества выделяется из раствора, при каждой данной температуре в растворе остается то количество вещества, которое соответствует коэффициенту растворимости при этой температуре. Избыток вещества из раствора выпадает в виде кристаллов; количество кристаллов тем больше, чем больше центров кристаллизации в растворе. Центрами кристаллизации могут служить загрязнения на стенках посуды с раствором, пылинки, мелкие кристаллики соли. Если предоставить выпавшим кристалликам возможность подрасти в течение суток, то среди них найдутся чистые и совершенные по форме экземпляры. Они могут служить затравками для выращивания крупных кристаллов.

Чтобы вырастить крупный кристалл, в тщательно отфильтрованный насыщенный раствор нужно внести кристаллик - затравку, заранее прикрепленный на волосе или тонкой леске, предварительно обработанной спиртом.

Можно вырастить кристалл без затравки. Для этого волос или леску обрабатывают спиртом и опускают в раствор так, чтобы конец висел свободно. На конце волоса или лески может начаться рост кристалла.

Если для выращивания приготовлен крупный затравочный кристалл, то его лучше вносить в слегка подогретый раствор. Раствор, который был насыщенным при комнатной температуре, при температуре на 3-5°C выше комнатной будет ненасыщенным. Кристалл-затравка начнет растворяться в нем и потеряет при этом верхние, поврежденные и загрязненные слои. Это приведет к увеличению прозрачности будущего кристалла. Когда температура понизится до комнатной, раствор вновь станет насыщенным, и растворение кристалла прекратится. Если стакан с раствором прикрыть так, чтобы вода из раствора могла испаряться, то вскоре раствор станет пересыщенным и начнется рост кристалла. Во время роста кристалла стакан с раствором лучше всего держать в теплом сухом месте, где температура в течение суток остается постоянной. На выращивание крупного кристалла в зависимости от условий эксперимента может потребоваться от нескольких дней до нескольких недель.

### **Процесс кристаллизации соли.**

Так же, как и при затвердевании металлического слитка, в процессе кристаллизации капли раствора соли наблюдаются три структурные зоны (рис.1). Зона 1 состоит из тонкого слоя мелких дендритов, образующихся у краев капли. Зона 2 характеризуется образованием крупных удлиненных дендритов. Зона 3 состоит из дендритов, имеющих различную ориентировку.

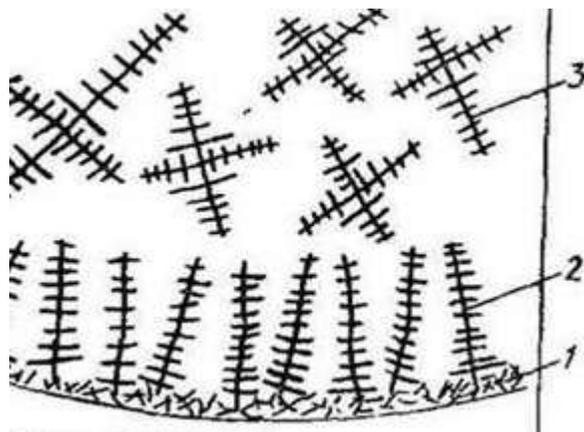


Рисунок 1 - Строение затвердевающей капли раствора соли  $\text{NH}_4\text{Cl}$

### **Биологический микроскоп**

Плита 1. микроскопа соединена с колонкой 3, шарниром 2, что позволяет наклонять верхнюю часть микроскопа для более удобного наблюдения при работе сидя. Тубус 7, в верхнюю часть которого вставляют окуляр 6, а в нижнюю ввинчивают объектив, 8 может передвигаться вверх и вниз вращением винта 5. Для точной наводки на фокус служит микрометрический винт 4. На предметный столик 9 помещают плоское стекло 10 с исследуемым объектом. В нижней части микроскопа установлено зеркало 11.

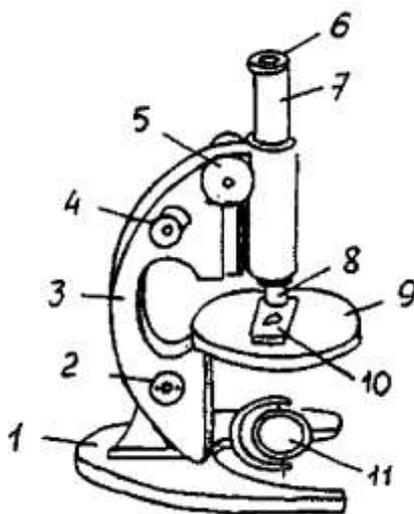


Рисунок 2 - Конструкция биологического микроскопа 10

**Порядок выполнения работы:**

1. Приготовить насыщенный раствор соли.
2. Для получения пересыщенного раствора соль NaCl растворить в воде при температуре (70...80)°C. Для этого подогреть раствор на пламени спиртовки. В работе использовать горячий раствор соли.
3. На стекло при помощи пипетки нанести каплю горячего пересыщенного раствора соли и поместить его на предметный столик
4. Поместить стекло 10 с каплей соли на предметный столик 9
5. В верхнюю часть тубуса 7 установить окуляр 6, а в нижнюю - объектив 8.
6. Зеркало 11 направить в сторону естественного или искусственного света.
7. Вращением зеркала 11, смотря одним глазом в окуляр 6, достичь нормального прохождения световых лучей (получение светлого поля).
8. Вращением винта 5 произвести грубую наводку на фокус.
9. Произвести точную наводку на фокус вращением микровинта 4.
10. Наблюдать за процессом кристаллизации раствора соли и зарисовать образующиеся с течением времени кристаллы соли в круге диаметром 40 мм.
11. Описать процесс кристаллизации соли.

12. Зарисовать строение затвердевающей капли раствора соли.

**Форма представления результата:** выполненная работа

**Критерии оценки:** зачет/незачет

### Тема 2.1.

#### Методы исследования структуры металлов и сплавов Лабораторная работа № 2

#### Макроскопический анализ. Выявление ликвации серы.

**Цель:**- ознакомление с методами макроскопического анализа, изучение характерных видов;

-углубление, закрепление полученных теоретических знаний по данной теме;

-формирование умений применять полученные знания на практике.

**Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

-развивать умения: наблюдать, анализировать, делать выводы и обобщения, самостоятельно вести исследования

**Материальное обеспечение:**

1. Образцы с неравномерным распределением серы, с дефектами, нарушающими сплошность металла, литой стали, с волокнистостью;
2. Образцы слитка спокойной стали;
3. Презентации по теме «Макроструктура»
4. Шлифовальная шкурки различных размеров зернистости
5. Вата
6. Лист бромосеребряной фотобумаги
7. Фильтровальная бумага
8. Резиновый валик;
9. Водный раствор гипосульфита
10. Вытяжной шкаф
11. Щипцы
12. Лупа
13. Спирт, реактивы для выявления макроструктуры
14. Водяная баня

**Задание:**

1. Изучить методику приготовления макрошлифов;
2. Изучить методику выявления серы методом Баумана и составить опорный конспект;

- 3.Зарисовать полученный отпечаток и дать характеристику ликвации серы;
- 4.Изучить дефекты, нарушающие сплошность металла;
- 5.Зарисовать и дать характеристику выявленных дефектов.

#### **Краткие теоретические сведения.**

Макроанализ применяют для выявления в металле:

- ✓ дендритного строения,
- ✓ усадочной рыхлости,
- ✓ газовых пузырей, трещин,
- ✓ шлаковых включений,
- ✓ расположения волокон в поковках и штамповках,
- ✓ ликвации серы и фосфора,
- ✓ качества сварного соединения.

При макроанализе проводят исследование *макроструктуры*.

Макроструктурой называется строение металла, видимое без увеличения или при небольшом увеличении (до 30 раз) с помощью лупы.

Образец металла, поверхность которого подготовлена для макроанализа, называется макрошлифом.

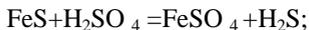
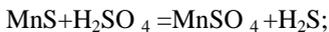
Приготовление макрошлифа

Поверхность образца для макроанализа обрабатывают на фрезерном или строгальном станке (если материал с невысокой твердостью), или на плоскошлифовальном станке (если материал твердый). Для получения более гладкой поверхности образец шлифуют. Шлифование начинают шкуркой с наиболее грубым абразивным зерном, затем постепенно переходят на шлифование шкуркой с более мелким зерном. При переходе с одного номера шкурки на другой направление шлифования меняют на 90°. После шлифования образцы протирают ватой и подвергают травлению.

Выявление ликвации серы (метод серного отпечатка или метод Баумана).

1. Макрошлиф протереть ватой смоченной спиртом и положить на стол шлифованной поверхностью вверх.
2. Лист глянцевой бромсеребрянной фотографической бумаги вымочить на свету в течение 5-10 минут в 5% - ном водном растворе серной кислоты, слегка просушить между двумя листами фильтровальной бумаги для удаления избытка раствора, наложить эмульсионной стороной на макрошлиф и, пригладивая сверху рукой или резиновым валиком, удалить образующиеся пузырьки газов, выдержать на макрошлифе в течение 2-3 минут и осторожно снять с макрошлифа.
3. Полученный отпечаток промыть в воде, зафиксировать в 25% - ном водном растворе гипосульфита, снова промыть в воде и просушить. Полученные на бумаге участки коричневого цвета указывают на места обогащенные серой (скопления сульфитов). Если бумага имеет равномерную окраску, следовательно, сера распределена равномерно. Появление темных участков

обусловлено следующими реакциями:



$\text{Ag}_2\text{S}$ - имеет коричневый цвет.

Образующийся сероводород непосредственно против очагов выделения воздействует на кристаллики бромистого серебра фотоэмульсии:



Темные участки сернистого серебра, образующиеся на фотобумаге, показывают форму и характер распределения сульфидов.

Выявление структуры литой стали

Строение литой стали выявляется травлением отшлифованного образца в 15%-ном водном растворе персульфата аммония; на водяной бане при температуре 80-90<sup>0</sup>С, в течение 5-10 минут.

Выявление дефектов, нарушающих сплошность металла

Для выявления в стали дефектов нарушающих сплошность металла (трещин, пор, раковин), производится глубокое травление отшлифованного образца водным раствором соляной кислоты (50 см<sup>3</sup> HCl; 50 см<sup>3</sup> H<sub>2</sub>O).

1.Отшлифованную поверхность образца протереть ватой, смоченной спиртом.

2.В водяную баню, установленную в вытяжном шкафу (т.к. при травлении выделяются ядовитые газы), поместить фарфоровую ванну, налить в нее реактив и нагреть до температуры 60-70<sup>0</sup>С.

3.Образец при помощи щипцов погрузить в горячий реактив и выдержать в нем 10-45 минут.

4.После выдержки образец вынуть из реактива.

5.Образец промыть водой, затем 10-15%-ным водным раствором азотной кислоты и просушить.

**Вывод:** при глубоком травлении раствором кислоты высокой концентрации происходит растравливание дефектов, нарушающих сплошность металла - они становятся видимыми невооруженным глазом.

### Порядок выполнения работы.

1.Приготовить макрошлифы.

2.Выявить ликвацию серы методом Баумана.

3.Макрошлиф протереть ватой, смоченной спиртом или бензином.

4.Лист бромосеребряной фотобумаги вымочить на свету в течение 5...10 минут в 5% водном растворе H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, слегка просушить между двумя листами фильтровальной бумаги для удаления избытка раствора и наложить эмульсионной стороной на макрошлиф и, приглаживая сверху резиновым валиком, удалить образующиеся пузырьки газов, выдержать на макрошлифе в течение 3...5 минут и осторожно снять.

5.Полученный отпечаток промыть в воде, зафиксировать в 25 % водном растворе гипосульфита, снова промыть в воде и просушить. Полученные на

фотобумаге участки коричневого цвета указывают на места, обогащенные серой (Рис. 1).

6.Зарисовать полученный отпечаток и дать характеристику ликвации серы;

7.Выявить дефекты, нарушающие сплошность металла.

8.Травление образцов производят в водном растворе соляной кислоты (50 см<sup>3</sup> HCl, 50 см<sup>3</sup> H<sub>2</sub>O).

9.Отшлифованную поверхность образца протереть ватой, смоченной спиртом.

10.Реактив налить в фарфоровую чашку, установленную в вытяжном шкафу и нагреть до температуры (60...70)0С.

11.Образец при помощи щипцов погрузить в горячий реактив и выдержать в нем 10...45 минут.

12.Образец при помощи щипцов вынуть из реактива.

13.Образец промыть водой и просушить фильтровальной бумагой.

14.При глубоком травлении раствором кислоты происходит растравление дефектов, нарушающих сплошность металла (Рис..2)



Рисунок 3 - Ликвация серы в стали

1.Выявить дефекты, нарушающие сплошность металла.

2.Травление образцов производят в водном растворе соляной кислоты (50 см<sup>3</sup> HCl, 50 см<sup>3</sup> H<sub>2</sub>O).

3.Отшлифованную поверхность образца протереть ватой, смоченной спиртом.

4.Реактив налить в фарфоровую чашку, установленную в вытяжном шкафу и нагреть до температуры (60...70)0С.

5.Образец при помощи щипцов погрузить в горячий реактив и выдержать в нем 10...45 минут.

6.Образец при помощи щипцов вынуть из реактива.

7.Образец промыть водой и просушить фильтровальной бумагой.



Рисунок 4 - Дефекты, нарушающие сплошность металла  
а) трещина; б) флокены

**Форма представления результата:** выполненная работа

**Критерии оценки:** зачет/незачет

## **Тема 2.1. Методы исследования структуры металлов и сплавов**

### **Лабораторная работа 3**

#### **Приготовление микрошлифов**

##### **Цель работы:**

-ознакомление с микроскопическим анализом металлов и сплавов, с устройством и возможностями металлографического микроскоп

-освоение одной из стандартных методик микроскопического анализа сплавов.

-углубление, закрепление полученных теоретических знаний по данной теме;

-формирование умений применять полученные знания на практике.

##### **Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

-развивать умения: наблюдать, анализировать, делать выводы и обобщения, самостоятельно вести исследования

##### **Материальное обеспечение:**

1.Металлографический микроскоп МИМ-7.

2.Образцы для микроанализа

##### **Задание:**

1.Ознакомиться с методикой приготовления микрошлифа и составить опорный конспект;

2.Ознакомиться с устройством и работой металлографического микроскопа ;

3.Зарисовать оптическую схему микроскопа;

4.Подготовить микроскоп к работе.

5. Поместить микрошлиф на отверстие предметного столика и определить форму и размер зерен металлов;

6. Зарисуйте микродефекты, неметаллические включения

7. Составить отчет по работе.

### **Краткие теоретические сведения**

Под микроанализом понимают изучение строения металлов с помощью металлографического микроскопа при увеличении в 50...200 раз. При помощи микроанализа определяют:

- Форму и размер зерен металлов.

- Изменение строения металлов и сплавов под влиянием различной термической обработки.

- Микродефекты, неметаллические включения.

### **Приготовление микрошлифа**

Образец металла, специально приготовленный для исследования его структуры под микроскопом, называется микрошлифом.

Для микроанализа: из исследуемого материала вырезают образец, поверхность его подвергают шлифованию, полированию, травлению, рассматривают в металлографический микроскоп.

Шлифование поверхности вручную или на специальных шлифовальных станках начинают на шкурке с наиболее крупным абразивным зерном, затем постепенно переходят к шлифованию на шкурке с более мелким абразивным зерном, после чего поверхность образца полируют.

Полирование проводят на специальном полировальном станке на вращающемся круге, обтянутом сукном, смачиваемым полировальной жидкостью – водой со взвешенными в ней частицами окиси хрома или алюминия. Обработанная поверхность образца получается блестяще зеркальной. Но полученная поверхность не позволяет судить о строении зерен – на светлом фоне полированной поверхности образца выявляются только неметаллические включения и микродефекты.

Для выявления микроструктуры полированную поверхность образца подвергают травлению, т. е. действию растворов кислот, щелочей, солей.

Для травления шлифов наиболее распространенными являются следующие реактивы:

- для сталей и чугунов – 4-процентный раствор азотной кислоты в этиловом спирте;
- для алюминиевых сплавов – плавиковая кислота, едкий натр;
- для меди и медных сплавов – соляно-кислый раствор хлорного железа.

Различные составляющие структуры растворяются с различной скоростью, поэтому одни вытравляются больше, а другие – меньше. При освещении микрошлифа на микроскопе лучи света по-разному отражаются от различно

протравившихся структурных составляющих. Места, протравленные сильнее, больше рассеивают отраженные лучи, поэтому в объективе микроскопа они получаются более темными.

При работе с микрошлифом следует помнить, что:

- нельзя прикасаться пальцами к поверхности микроскопа;
- нельзя протирать полированную поверхность;
- при хранении микрошлиф ставят полированной поверхностью вверх;
- на столик микроскопа шлиф ставят полированной поверхностью вниз, но при этом нельзя двигать его по столику, чтобы не нанести царапин.

Металлографический микроскоп МИМ-7.

Микроскоп МИМ-7 состоит из трёх основных частей: осветителя, корпуса и верхней части. Луч света от лампы (1) через систему оптико-механических приспособлений направляется на отражательную пластинку (11), которая для этого луча играет роль зеркала и направляет его через объектив (12) в отверстие предметного столика (13). На это отверстие устанавливается микрошлиф полированной стороной вниз. Отраженный от его поверхности световой луч, содержащий информацию о микрорельефе микрошлифа, проходит сквозь объектив и попадает вновь на отражающую пластинку. Однако, для этого луча отражающая пластинка прозрачна, и он проходит далее до зеркала (18) и затем выходит в окуляр (19), через который и осуществляется визуальное изучение микроструктуры образца.

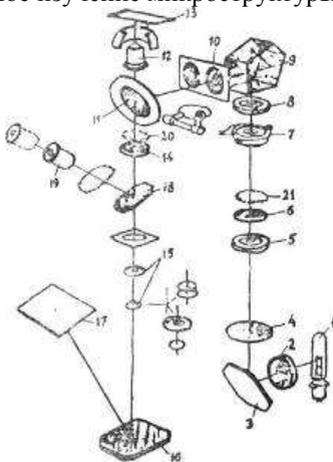


Рисунок 5 - Оптическая схема микроскопа

1 – лампа; 2 – коллектор; 3 – зеркало; 4 – светофильтр; 5 – апертурная диафрагма; 6 – линза; 7 – фотозатвор; 8 – полевая диафрагма; 9 – пентапризма; 10 – линза; 11 – отражательная пластинка; 12 – объектив; 13 – предметный столик; 14 – ахроматическая линза; 15 – фотоокуляр; 16 – зеркало; 17 –

фотопластинка; 18 –зеркало; 19 – окуляр; 20 – вкладной анализатор; 21 – поляризатор.

На рис. 6 приведен общий вид микроскопа МИМ-7. Следует обратить особое внимание на правильность обращения с органами управления микроскопом (поз. 4, 9, 14), а также со стопорным винтом грубой подачи, расположенным под винтом (14) с левой стороны микроскопа (на рис. 2 не виден). Питание осветительной лампы микроскопа осуществляется от трансформатора ТР-17, выполненного в виде отдельного блока, установленного на лабораторном столе возле микроскопа. На этом блоке имеется переключатель напряжения (от 0 до 30 В), подаваемого на лампу и вольтметр, измеряющий это напряжение.

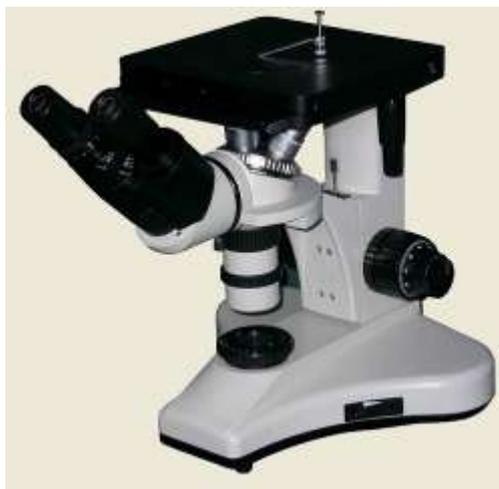


Рисунок 6 - Общий вид микроскопа МИМ - 7

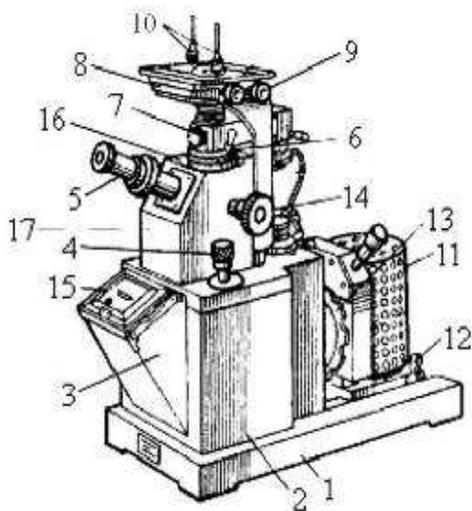


Рисунок 7 - Общий вид микроскопа МИМ - 7

1 – основание микроскопа; 2 – корпус; 3 – фотокамера; 4 – винт микрометрической (точной) подачи объектива; 5 – визуальный тубус; 6 – рукоятка диафрагмы; 7 – иллюминатор; 8 – предметный столик; 9 – рукоятка перемещения столика; 10 – клеммы; 11 – осветитель; 12 – стопорное устройство осветителя; 13 – рукоятка смены светофильтров; 14 – винт грубой подачи столика; 15 – рамка с матовым стеклом; 16 – анализатор; 17 – корпус центральной части.

**Порядок выполнения работы:**

1. Изучив теоретический материал, составить опорный конспект методики приготовления микрошлифа;
2. Ознакомиться с устройством и работой металлографического микроскопа;
3. Зарисовать оптическую схему микроскопа;

4. Подготовить микроскоп к работе:

Убедиться, что трансформатор ТР-17 находится в выключенном состоянии. Для этого ручку его переключателя перевести против стрелки в крайнее положение до упора. Подключить штекерную розетку осветительной лампы микроскопа к штекерной вилке на задней стенке трансформатора ТР-17. Включить шнур питания трансформатора в сетевую розетку 220В, соблюдая обычные требования безопасности. Включить минимальное напряжение питания осветительной лампы микроскопа. Для этого повернуть ручку переключателя на трансформаторе ТР-17 на один щелчок. При этом сквозь отверстия в кожухе лампы микроскопа будет видно ее свечение.

*Примечание:* При визуальном изучении микроструктуры не следует устанавливать более высокие напряжения питания осветительной лампы микроскопа.

Проверить прохождение светового луча в отверстие предметного столика (8) по наличию светового пятна при поднесении к отверстию ладони или листа бумаги. При необходимости переместить предметный столик с помощью рукояток (9). Поместить микрошлиф на отверстие предметного столика полированной стороной вниз. В дальнейшем для перемещения шлифа использовать рукоятки (9) перемещения предметного столика. Наблюдая в окуляр, осторожным вращением винта (14) грубой подачи стола "поймать" изображение, не стараясь добиться его четкости, и придерживая винт (14) правой рукой, левой рукой без особого усилия зажать стопорный винт грубой подачи, расположенный с левой стороны микроскопа под винтом (14). Вращением винта (4) микрометрической подачи добиться четкого изображения микроструктуры. Выбрать увеличение микроскопа (Табл. 1) и навести микрошлиф на фокус.

5. Зарисуйте микродефекты, неметаллические включения

6. Составить отчет по работе.

**Форма представления результата:** выполненная работа

**Критерии оценки:** зачет/незачет

### **Тема 2.3. Механические свойства металлов и методы их испытания** **Лабораторная работа 4**

#### **Изучение методики измерения твёрдости металлов по Бринелю и Роквеллу.**

##### **Цель работы:**

- углубление, закрепление полученных теоретических знаний по данной теме;
- формирование умений применять полученные знания на практике;
- ознакомление с методикой проведения испытания металлов на твердость по методу Бринелля и Роквелла.

##### **Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

- развивать умения: наблюдать, анализировать, делать выводы и обобщения, самостоятельно вести исследования

##### **Материальное обеспечение:**

1. Твердомеры типа Бринелля и Роквелла.
2. Образцы для испытания.
3. Лупа.
4. Таблица для определения чисел твердости по Бринеллю.

##### **Задание:**

1. Изучить способы измерения твердости по Бринеллю и Роквеллу;
2. Составить опорный конспект и зарисуйте рисунок 1;
3. Подготовить образец;
4. Провести испытание по Бринеллю;
5. Провести испытание по Роквеллу;
6. Сделать вывод.

### **Краткие теоретические сведения**

Для того чтобы правильно использовать материал, надо знать его свойства. Различают физические, химические, технологические и механические свойства.

**Физические свойства**- показывают отношение материала к действию физических явлений (исключая действие механических сил). К ним относятся: плотность – отношение к действию сил тяжести; теплопроводность – способность передавать тепло от более нагретых частей тела к менее нагретым; цвет – способность отражать или поглощать световые волны и т.п.

**Химические свойства** - показывают отношение материала к действию химических явлений. К ним относятся: окисляемость – способность сопротивляться действию окислителей; коррозионная стойкость – способность сопротивляться коррозии, растворимость – способность растворяться в химических веществах и т.д.

**Технологические свойства** -показывают отношение материала к способам его обработки. К ним относятся: литейные свойства (жидкотекучесть, усадка, склонность к ликвации), деформируемость (ковкость), свариваемость – способность образовывать неразъемные соединения требуемого качества и т.д.

**Механические свойства** показывают отношение материала к действию внешних сил. К ним относятся твердость, прочность, пластичность, ударная вязкость и т.д.

**Твердостью** называют свойство материала оказывать сопротивление проникновению в него постороннего тела. Твердость - это характеристика материала, зависящая от совокупности его пластических, упругих свойств и характера напряженного состояния, проявляющаяся в способности оказывать сопротивление при деформации участка поверхности тела из этого материала.

Способы измерения твердости различаются по характеру воздействия наконечника на поверхность исследуемого материала и характеризуют различные механические свойства.

Твердость, измеренная по вдавливанию наконечника, характеризует сопротивление материала пластической деформации.

Это самые распространенные методы замера твердости (твердость по Роквеллу, Бринеллю, Виккерсу, определение микротвердости).

Твердость, измеренная по царапанию поверхности, характеризует сопротивление материала разрушению.

Твердость, измеренная по удару или по отскоку наконечника- шарика, характеризует упругие свойства материала. Это метод замера твердости по Полюди, применяемый при переносных испытаниях.

### **Определение твердости по методу Бринелля**

Измерение твердости по Бринеллю проводят по ГОСТ 9012-59 «Метод измерения твердости по Бринеллю».

Твердость по Бринеллю определяют вдавливанием стального шарика диаметром от 2,5 до 10 мм с нагрузкой от 187,5 до 3000кг в течение от 10 до 30 секунд.

Диаметр отпечатка измеряют с помощью микроскопа или других приборов в двух взаимно перпендикулярных направлениях и определяют среднее арифметическое значение двух измерений.

При этом разность измерений диаметров одного отпечатка не должна превышать 2% меньшего из них.

Твердость по Бринеллю выражается отношением приложенной нагрузки  $F$  к площади поверхности сферического отпечатка  $A$ .

Обозначение твердости:

НВ – при применении стального шарика для металлов и сплавов с твердостью не более 450 единиц и НВW – при применении шарика из твердого сплава для металлов и сплавов с твердостью более 650 единиц.

Если твердость по Бринеллю измеряется с использованием стального шарика диаметром

$D = 10$  мм при нагрузке  $F = 3000$  кгс и продолжительности выдержки под нагрузкой от 10 до 15 с, она обозначается цифрами, характеризующими величину твердости, и буквами НВ, например 190НВ. При других условиях испытания после буквы НВ указываются условия испытания в следующем порядке: диаметр шарика, нагрузка и продолжительность выдержки под нагрузкой: например, 190 НВ 5/750/20 – твердость по Бринеллю определенная с применением шарика  $D = 5$  мм при нагрузке 750 кгс и продолжительности выдержки под нагрузкой 20с.

Число твердости определяется по формуле:

$$HB = F/A = 2F/\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2});$$

где  $F$  – приложенная нагрузка, кгс,  $D$  – диаметр шарика, мм;  $d$  - диаметр отпечатка, мм.

### Требования к образцам и проведению испытаний:

- ✓ толщина образца должна не менее, чем в 10 раз, превышать глубину отпечатка;
- ✓ поверхность должна быть ровной, гладкой и свободной от оксидных пленок;
- ✓ расстояние между центрами двух соседних отпечатков должно быть не менее  $4d$ ;
- ✓ расстояние от центра отпечатка до края образца должно быть не менее  $2,5d$ .

Схемы проведения измерения твердости приведена на рис. 7 (а).

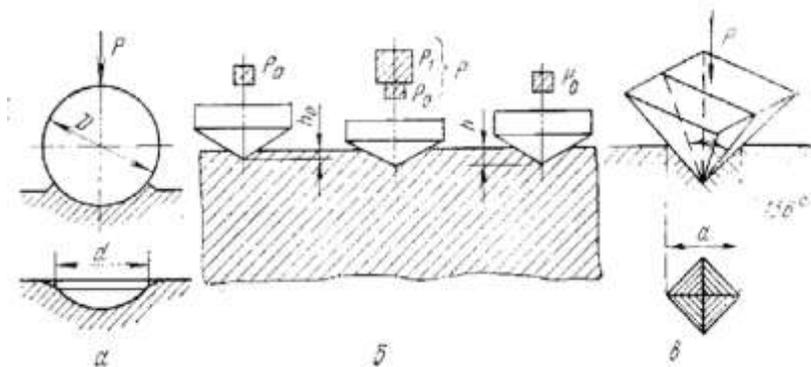


Рисунок 7 - Схемы замера твердости: по а – по Бринеллю, б – по Роквеллу, в – по Виккерсу

Для определения твердости по Бринеллю применяют специальные приборы стационарного типа ТШ или ТШК с гидравлическим или рычажно-механическим приводом (рис. 2).

Прибор состоит из чугунной станины 1, опорного столика 2 для помещения образца, шарика 3, вставленного в шпindelь 4, рычажной системы 5 с грузами 6 и червячной передачей с шатуном 7. Нагружение производится при помощи электродвигателя 8. Опорный столик может перемещаться в вертикальном направлении при помощи подъемного винта 9 и маховик к 10. Предварительное нагружение для предотвращения смещения образца во время испытания производится пружиной 11.

### Определение твердости по методу Роквелла

Сущность метода заключается во внедрении в поверхность образца алмазного конусного (шкалы А, С, D) или стального сферического наконечника (шкалы В, Е, F, G, К) под действием последовательно прилагаемых предварительного

F<sub>0</sub> и основного F<sub>1</sub> усилий и в определении глубины внедрения наконечника после снятия основного усилия F<sub>1</sub>.

Наиболее часто используются три шкалы метода Роквелла: А, В, С.

Выбор наконечника и нагрузки для испытания по методу Роквелла представлен в табл. 1.

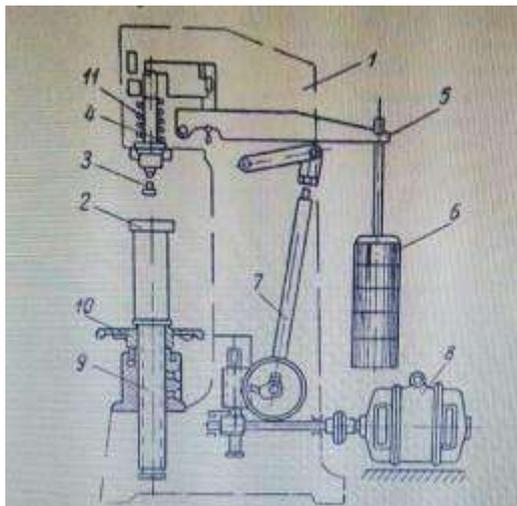


Рисунок 8 - Прибор для определения твердости ТШ

Таблица 1 - Определение твердости по методу Роквелла

Испытуемый материал	Наконечник	Цвет шкалы	Нагрузк а, кг	Шкал а	Обозначни е твердости
Мягкие цвeные металлы и их сплавы	Шарик (диаметр 1,59 мм)	Красны й	100	В	HRВ
Мягкие цвeные металлы и их сплавы	Алмазный конус	Черный	150	С	HRС
Особо твердые матери-алы (белый чугун, ме-таллокерамически е твердые сплавы)	Алмазный конус	Черный	60	А	HRА

Твердость по Роквеллу обозначают символом HR с указанием шкалы твердости. Число твердости по Роквеллу определяется по шкале индикатора или показателя цифрового отсчитывающего устройства с округлением до 0,5 единицы твердости.

Например: 61,5 HRC - твердость по Роквеллу 61,5 единиц по шкале С.

Число твердости по Роквеллу является условной величиной и определяется разностью глубин, на которые перемещается наконечник под действием последовательно приложенных нагрузок. Чем больше величина вдавливания, тем меньше величина твердости HR. Единица твердости по Роквеллу - безразмерная величина, соответствующая осевому перемещению индикатора на 0,002мм

*Требования к образцам и проведению испытаний:*

- ✓ шероховатость поверхности образца Ra должна быть не более 2,5 мкм;
- ✓ толщина образца должна не менее чем в 10 раз превышать глубину внедрения наконечника после снятия основного усилия;
- ✓ расстояние между центрами двух соседних отпечатков должно быть не менее четырех диаметров отпечатка, но не менее 2 мм;
- ✓ расстояние от центра до края образца должно быть не менее 2,5 диаметра отпечатка (но не менее 1 мм).

Наличие различных шкал твердости, условный и безразмерный численный результат испытаний, сравнительно низкая чувствительность делают метод Роквелла лишь средством быстрого и упрощенного технического контроля. Однако отпечатки на поверхности деталей имеют небольшие размеры и практически безвредны для дальнейшей эксплуатации деталей.

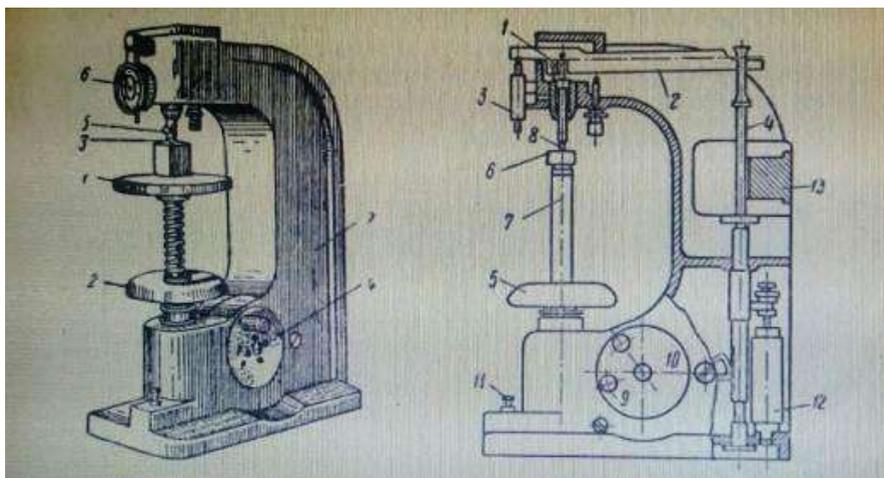


Рисунок 9 -Прибор Роквелла:

1-подставка, 2-маховик, 3-алмазный конус, 4-рукоятка, 5-наконечник, 6-индикатор, 7-станина;

На опоре 1 вращается рычаг 2, соприкасающейся с одной стороны с индикатором 3, а с другой стороны с вертикальной тягой 4 с грузами. При помощи маховичка 5 испытываемый образец 6, помещённый на предметный столик 7, подводят к наконечнику шариком или с алмазным конусом 8. Маховичок медленно вращают до тех пор, пока малая стрелка индикатора не придет к нулю, а большая не займёт почти вертикальное положение. Затем шкалу индикатора поворачивают так, чтобы нулевая точка шкалы С совпала с острием большой стрелки (при работе с шариковым наконечником большая стрелка устанавливается на деление 30 шкалы В). В этот момент наконечник 8 оказывается нагруженным силой в 10 кг. Это предварительная нагрузка устраняет влияние мелких неровностей поверхности образца на результаты его испытания. Рукоятка 9 на диске 10 служит для поднятия вертикальной тяги с грузом, когда нужно разгрузить испытываемый образец. Нажимая кнопку 11, приводят в действие с помощью моторчика нагружающий механизм, при этом рукоятка диска переместится, а вертикальная тяга с грузами опустится, постепенно нагружая наконечник до 100 или 150 кг. Масляный катаракт 12 регулирует скорость нагружения грузом 13. Затем поворотом рукоятки 9 прежнее положение нагрузку сжимают до 10 кг.

Стрелка индикатора покажет число твердости, которая зависит от глубины вдавливания шарика или конуса при увеличении нагрузки от 10 до 100 или 150 кг.

### Порядок выполнения работы:

1. Подготовить образец.
  2. Образец должен иметь чистую и плоскую поверхность.
  3. Толщина образца должна быть не менее десятикратной глубины отпечатка.
  4. Центр отпечатка должен находиться от края образца на расстоянии не менее 2,5 диаметров отпечатка, а от центра соседнего отпечатка на расстоянии не менее четырех диаметров отпечатка.
  5. Провести испытание по Бринеллю.
    - 5.1 Установить на подвеску грузы, соответствующие выбранной нагрузке.
    - 5.2 Испытуемый образец положить на столик прибора.
    - 5.3 Вращением маховика прижать образец к шарик.
    - 5.4 Включить электродвигатель.
    - 5.5 После снятия нагрузки опустить столик.
    - 5.6 Измерить полученный отпечаток лупой в двух взаимно перпендикулярных направлениях.
    - 5.7 В результате вдавливания шарика на поверхности образца образуется отпечаток.
    - 5.8 Диаметр отпечатка характеризует твердость образца.
- Число твердости по Бринеллю подсчитывают по формуле:
- $$HB = F/A = 2F/\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2});$$
- где F – приложенная нагрузка, кгс, D – диаметр шарика, мм; d – диаметр отпечатка, мм.
- Диаметр шарика, величину нагрузки на образец, время выдержки нагрузки в зависимости от твердости испытуемого образца определяются по таблице (ГОСТ 9012 – 59).
- 5.10 По таблице определить твердость.
  - 5.11 Результаты испытаний занести в таблицу 2.

Таблица 2 - Результаты испытаний

Материал образца	Условия испытания			Диаметр отпечатка, мм			Твердость HB, кг/мм <sup>2</sup>
	Нагрузка, кг	Диаметр шарика, мм	Время выдержки, сек	Первое измерение	Второе измерение	Среднее значение	

6. Провести испытание по Роквеллу.
  - 6.1 Подвесить груз, соответствующий наконечнику и шкале (Табл.3)

Таблица 3 - Выбор нагрузки наконечника

Шкала	Вид наконечника	Нагрузка, кг	Обозначение твердости	Пределы измерения
В	Стальной шарик 1,588 мм	100	HRB	25...100
С	Алмазный конус	150	HRC	20...67
А	Алмазный конус	60	HRA	70...85

6.2 Образец положить на столик прибора.

6.3. Вращением маховика поджимать образец к наконечнику до тех пор, пока маленькая стрелка индикатора не установится против красной точки – это означает, что дана предварительная нагрузка 10 кг. Большая стрелка должна указывать на нуль шкалы индикатора с погрешностью + 5 делений.

6.4. Вращением барабана 9 установить большую стрелку на нуль черного цвета.

6.5. Плавно нажать на клавишу 10 (при этом включается механизм нагружения).

6.6. После окончания цикла нагружения произвести отсчет по шкале индикатора.

6.7. Снять предварительную нагрузку вращением маховика 8 против часовой стрелки.

6.8. Испытание провести не менее трёх раз.

6.9. Результаты испытаний занести в таблицу 4

Таблица 4 - Результаты испытаний

Материал образца	Условия испытания			Диаметр отпечатка			Твердость HRC, кг/мм <sup>2</sup>
	Нагрузка, кг	Диаметр шарика, мм	Время выдержки	Первое измерение	Второе измерение	Среднее значение	

**Форма представления результата:** выполненная работа  
**Критерии оценки:** зачет/незачет

### **Тема 3.1 Общая характеристика металлических сплавов.**

#### **Практическое работа №1**

##### **Диаграмма состояния сплавов.**

**Цель:** -изучение методики проведения термического анализа;  
- изучение основных типов диаграмм состояния двойных систем.  
-приобретение практических навыков изучения превращений,  
- протекающих при кристаллизации сплавов;  
-анализ полученных данных и определение возможности использования на практике

**Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

- обобщать, систематизировать, углублять, закреплять, детализировать полученные теоретические знания
- формировать умения применять полученные знания на практик

**Материальное обеспечение:**

1. Презентация по данной теме;
2. Компьютер, проектор, экран;
3. Электронные плакаты Диаграмм состояния.

**Задание:**

1. Изучите теоретический материал по построению Диаграммы состояния в координатах: *температура* – концентрация и составьте опорный конспект;
2. Постройте Диаграмму состояния А-В, где А 30%, В-70%;
3. Изучите теоретические сведения по теме – «Диаграммы состояния I типа - для случая нерастворимости в твердом состоянии» и составьте опорный конспект;
  - 3.1 Постройте кривые охлаждения Pb-Sb, где:  
а — 5% Sb, б – 10% Sb; в — 13% Sb; г — 20% Sb; д — 40% Sb; е — 80% Sb;
  - 3.2 Вычертите Диаграмму состояния Pb-Sb, укажите линии Ликвидуса и Солидуса, эвтектику, укажите критические точки;
  - 3.3 Проанализируйте диаграмму состояния Pb-Sb по алгоритму:
  - 3.3 Определить количество твердой и жидкой части сплава Pb-Sb, где Pb-60%, Sb-40% при  $T=395^{\circ}$
4. Изучите теоретические сведения по теме «Диаграмма состояния II типа – неограниченной растворимости компонентов в твердом виде»

5. Изучите теоретические сведения по теме «**Диаграмма состояния сплавов для случая ограниченной растворимости компонента в твердом состоянии**»
6. Изучите теоретические сведения по теме «**Диаграмма состояния сплавов для случая образования между компонентами химического соединения**»
7. Сделайте вывод о проделанной работе

### **Краткие теоретические сведения**

Термический анализ является одним из методов определения температур фазовых превращений вещества, сопровождающихся тепловыми эффектами.

Метод основан на построении кривых охлаждения (нагрева) в координатах «температура вещества – время охлаждения (нагрева)». Если при охлаждении (нагревании) в веществе не происходит фазовые превращения, то кривая охлаждения имеет вид плавной нисходящей линии. При фазовых превращениях на кривой появляются горизонтальные (изотермические) участки или изгибы, обусловленные выделением (поглощением) тепла, вызывающем изменение скорости охлаждения (нагрева).

Процесс кристаллизации металлических сплавов и некоторые закономерности в их строении описываются с помощью диаграмм состояния или диаграмм фазового равновесия. Эти диаграммы в графической форме показывают фазовый состав и структуру в зависимости от температуры и концентрации. Они построены для условий равновесия. Равновесное состояние соответствует минимуму свободной энергии и в связи с этим является стабильным. При данных температуре и давлении в условиях равновесия свободная энергия должна оставаться постоянной. Прежде чем перейти к рассмотрению диаграмм состояния, дадим точные определения основным понятиям, которыми придется оперировать.

**Фаза** – это однородная часть системы, отделенная от других частей системы (фаз) поверхностью раздела, при переходе через которую химический состав, структура и свойства вещества изменяются скачком. Однородная жидкость является однофазной системой, смесь жидкости и твердого вещества – двухфазной, твердый раствор – однофазной, механическая смесь двух твердых растворов – двухфазной.

**Компонентами** называются вещества, образующие систему. Чистый металл – это однокомпонентная система, сплав двух металлов – двухкомпонентная.

#### **1. Диаграммы состояния.**

К внешним факторам, влияющим на состояние сплава, относятся температура и давление, к внутренним – концентрация

Диаграммы состояния характеризуют процессы затвердевания и структурного изменения различных систем сплавов и дают наглядное представление о структуре любого сплава данной системы. Имея диаграмму состояния сплавов данных компонентов, можно заранее судить о свойствах всех сплавов данной системы.

Диаграмма состояния позволяет научно подойти к выбору режимов горячей и термической обработки сплавов.

Диаграмма состояния строится в координатных осях, по которым откладывают температуру (в градусах Цельсия) и *массовую долю компонентов* (от 100 % одного до 100 % другого- концентрация) –рис.1.

Для сплавов, состоящих из двух компонентов А и В, состав характеризуется отрезком прямой, принятым за 100%.

Крайние точки А и В соответствуют 100% чистых компонентов.

Любая точка на этом отрезке характеризует состав двойного сплава.

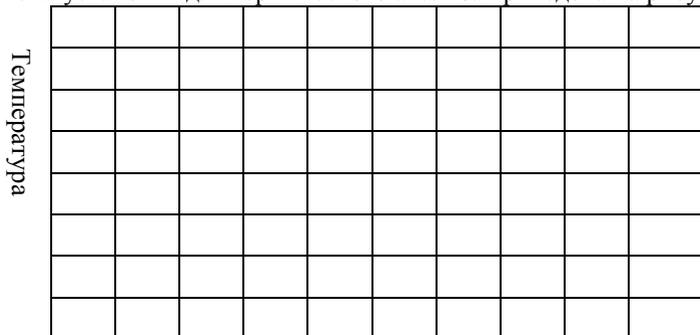
Так, например, точка С соответствует сплаву, состоящему из 20% В и 80% А,

точка D соответствует сплаву, состоящему из 60% В и 40% А.

Для построения диаграммы состояния из компонентов изготавливают серию сплавов различного состава и для каждого из них строят кривую охлаждения по результатам термического анализа (так же, как для чистых металлов).

Линии на диаграмме являются геометрическим местом критических температур, под которыми понимаются температуры фазовых превращений. Для их определения строят кривые охлаждения для сплавов различного состава и по остановкам и перегибам на этих кривых определяют температуры превращений – критические точки. Для их определения строят кривые охлаждения для сплавов различного состава и по остановкам и перегибам на этих кривых определяют температуры превращений – критические точки. Критические точки каждого сплава наносят на сетку в координатах температура концентрация

Схема установки для термического анализа приведена на рисунке 10



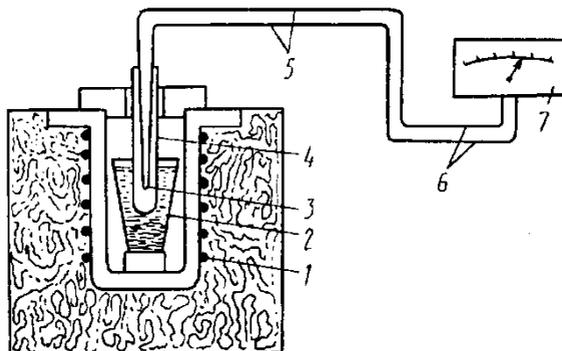
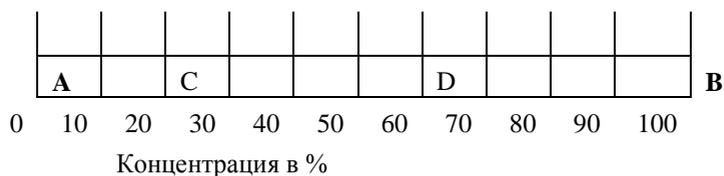


Рисунок 10 - Схема установки для исследования процесса кристаллизации сплавов методом термического анализа

В печь 1 помещают тигель 2 с исследуемым сплавом. Сплав расплавляют и опускают в него горячий спай термопары 3, защищенной фарфоровым или кварцевым чехлом 4. Печь выключают, и начинается охлаждение сплава. К холодным концам 5 термопары протекает электрический ток, возникающий из-за разности потенциалов в горячем спае. Ток по проводам 6 идет к гальванометру 7, шкала которого проградуирована в градусах Цельсия. Сила тока в термопаре пропорциональна температуре сплава. Через определенные короткие равные отрезки времени фиксируют температуру и записывают в таблицу. После полного охлаждения сплава строят график «температура – время» (кривая охлаждения).

**Форма представления результата:** выполненная работа

**Критерии оценки:** зачет/незачет

**Тема 3.2 Диаграммы состояния сплавов двухкомпонентных систем**  
**Практическая работа №2**  
**Построение диаграмм состояния сплавов с использованием метода термического анализа.**

**Цель:**

- изучение методики проведения термического анализа;
- изучение основных типов диаграмм состояния двойных систем.
- приобретение практических навыков изучения превращений, протекающих при кристаллизации сплавов;
- анализ полученных данных и определение возможности использования на практике

**Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

- обобщать, систематизировать, углублять, закреплять, детализировать полученные теоретические знания
- формировать умения применять полученные знания на практик

**Материальное обеспечение:**

1. Презентация по данной теме;
2. Компьютер, проектор, экран;
3. Электронные плакаты Диаграмм состояния.

**Задание:**

1. Изучите теоретические сведения по теме – «Диаграммы состояния I типа - для случая нерастворимости в твердом состоянии» и составьте опорный конспект;
2. Постройте кривые охлаждения Pb-Sb, где:  
а — 5% Sb, б — 10% Sb; в — 13% Sb; г — 20% Sb; д — 40% Sb; е — 80% Sb;
3. Вычертите Диаграмму состояния Pb-Sb, укажите линии Ликвидуса и Солидуса, эвтектику, укажите критические точки;
4. Сделайте вывод о проделанной работе

**Краткие теоретические сведения**

Диаграммы состояния I типа характеризуют системы, компоненты которых в жидком состоянии полностью взаимно растворяются, а в твердом состоянии образуют механическую смесь кристаллов обоих компонентов (элементы, входящие в состав не растворяются друг в друге в твердом состоянии).

Построение диаграммы состояния I типа разберем на примере системы сплавов свинец — сурьма (Pb—Sb).

Чтобы не делать наблюдений над всеми составами сплавов, ограничимся анализом лишь шести сплавов данной системы с содержанием сурьмы 5, 10, 13, 20, 40 и 80%.

Если нагреть каждый из этих сплавов до полного расплавления и с помощью пирометра и счетчика времени зафиксировать процесс их охлаждения, то по полученным данным можно построить кривые, приведенные на рис. 11

Перегибы и горизонтальные участки кривых — характеризуют замедление или остановку падения температуры сплавов при равномерном охлаждении и показывают наличие критических точек при данных температурах.

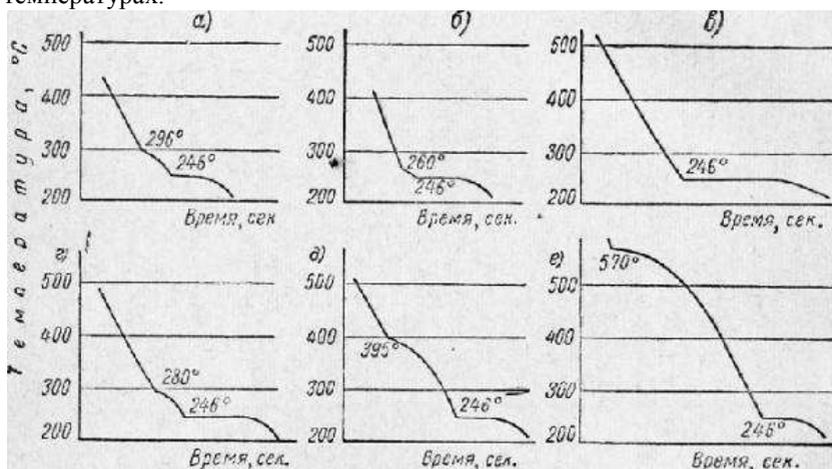


Рисунок 11 - Кривые охлаждения Pb-Sb, где:

а — 5% Sb, б — 10% Sb; в — 13% Sb; г — 20% Sb; д — 40% Sb; е — 80% Sb

Верхние критические точки соответствуют началу перехода сплавов из жидкого состояния в твердое, нижние — окончательному затвердеванию.

Для построения диаграммы состояния сплавов отметим в масштабе:

- по горизонтали — точки взятых нами сплавов, принимая, что слева будет чистый свинец, а справа — чистая сурьма (рис. 25).
- по вертикали разметим шкалу температуры и отложим критические температуры указанных сплавов.

Свинец имеет температуру плавления  $327^\circ$ , сурьма  $630^\circ$ .

Соединяя нижние критические точки, получим прямую DE, а соединяя верхние точки — две кривые AB и BC, сходящиеся в точке B с прямой DE.

Построенная диаграмма показывает:

- ✓ начало затвердевания различных сплавов системы происходит при различных температурах,
- ✓ окончание затвердевания — при одной определенной температуре для всей данной системы сплавов,
- ✓ один сплав (13% Sb) имеет, как и чистые металлы, только одну критическую точку В, в которой происходит его полное затвердевание

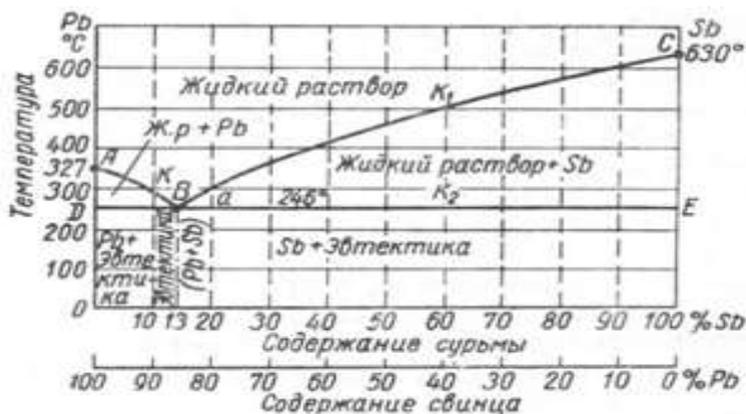


Рисунок 12 - Диаграмма состояния Pb-Sb

Выше линии ABC все сплавы находятся в жидком состоянии.

Линия ABC называется линией ликвидуса (ликвидус-лат. –жидкий).

Ниже линии DBE все сплавы находятся в твердом состоянии.

Линия DBE называется линией солидус (солидус-лат.твердый).

Проследим процесс кристаллизации сплавов.

В точке В при содержании 13% Sb, 87% Pb и при температуре  $246^{\circ}$  кристаллизация свинца и сурьмы происходит одновременно – образуется тонкая механическая смесь кристаллов свинца и сурьмы (двух фаз). Эта смесь называется эвтектикой, а сплав соответствующего состава — эвтектическим (рис.5).

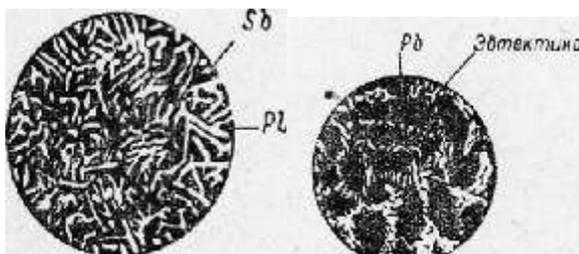


Рисунок 13 - Механическая смесь Pb-Sb

Сплавы, содержащие меньше 13% Sb, называются доэвтектическими, а содержащие больше 13% Sb — заэвтектическими.

Общее по диаграмме сплавов свинец — сурьма, отметим следующее:

- а) по линии АВ диаграммы начинается выпадение кристаллов свинца;
- б) в области диаграммы ABD находятся кристаллы свинца и жидкий раствор, концентрация которого около линии BD приближается к эвтектической;
- в) по линии BD затвердевает весь оставшийся маточный раствор эвтектического состава;
- г) ниже линии BD находятся твердые доэвтектические сплавы, состоящие из кристаллов свинца и эвтектики;
- д) по линии BC начинается выпадение кристаллов сурьмы;
- е) в области диаграммы CBE находятся кристаллы сурьмы и жидкий раствор, концентрация которого около линии BE приближается к эвтектической;
- ж) по линии BE затвердевает весь оставшийся маточный раствор эвтектического состава;
- з) ниже линии BE находятся твердые заэвтектические сплавы, состоящие из кристаллов сурьмы и эвтектики.

Доэвтектический сплав, содержащий 5% Sb, выше первой критической точки  $a_1$  находится в жидком состоянии. При охлаждении в точке  $a_1$  из жидкого раствора выпадают центры кристаллизации (центрами кристаллизации называют мельчайшие частицы, зарождающиеся в жидком растворе или твердом металле) чистого свинца, так как свинец в этом сплаве находится в количестве избыточном по сравнению с эвтектическим составом.

При дальнейшем охлаждении между точками  $a_1$  и  $b_1$  продолжается рост имеющихся кристаллов свинца и выпадение новых, поэтому количество свинца в жидком (маточном) растворе постепенно уменьшается, и около точки  $b_1$  маточный раствор имеет эвтектический состав. В точке  $b_1$  при

температуре 246° происходит кристаллизация всего оставшегося маточного раствора эвтектического состава.

Ниже точки  $b_1$  сплав находится в твердом состоянии и представляет смесь кристаллов избыточного свинца и эвтектики.

Аналогично идет процесс кристаллизации заэвтектических сплавов

Пользуясь диаграммой состояния можно определить количество эвтектики в сплаве, а также жидкого раствора и его концентрацию в любой момент затвердевания сплава, т.е. можно определить составляющие сплава не только качественно, но и количественно.

Для количественных определений пользуются правилом отрезков.

По этому правилу- количество данной составляющей = отношению отрезка, прилегающего к противоположной составляющей, ко всему отрезку.

Определить количество твердой и жидкой части сплава Pb-Sb, где Pb-20%, Sb-80% при  $T=280^{\circ}$ .

1. Состав жидкой части сплава при данной температуре определяется точкой К (20%Sb).

2. Сплав состоит из кристаллов Sb (количественно обозначим  $Q_t$ ) и жидкой части сплава (количественно обозначим  $Q_j$ ).

3. Линия сплава I – I делит горизонтальную линию KM длиной 80 единиц (от 20 до 100) на отрезок КЛ длиной 60 единиц (от 20 до 80) и ЛМ длиной 20 единиц (от 80 до 100).

По правилу отрезков:

$$Q_t = \text{КЛ}/\text{KM} * 100\% = 60/80 * 100\% = 75\% - \text{ кристаллов сурьмы.}$$

$$Q_j = \text{ЛМ}/\text{KM} * 100\% = 20/80 * 100\% = 25\% - \text{ жидкого состава}$$

Т.е. этот сплав при 280 градусах будет состоять из 75% кристаллов сурьмы и 25% жидкого сплава. Соотношение жидкой и твердой фаз в любой точке отрезка (при любой температуре затвердевания сплава) определяется плечами горизонтального рычага, проведенного через данную точку.

**Форма представления результата:** выполненная работа

**Критерии оценки:** зачет/незачет

## Тема 3.2 Диаграммы состояния сплавов двухкомпонентных систем

### Практическая работа №3

#### Решение задач по диаграммам состояния двухкомпонентных систем.

**Цель:** -решение задач по диаграммам

- изучение основных типов диаграмм состояния двойных систем.
- приобретение практических навыков изучения превращений,
- протекающих при кристаллизации сплавов;
- анализ полученных данных и определение возможности

использования на практике

**Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

- обобщать, систематизировать, углублять, закреплять, детализировать полученные теоретические знания
- формировать умения применять полученные знания на практик

**Материальное обеспечение:**

- 1.Презентация по данной теме;
- 2.Компьютер, проектор, экран;
- 3.Электронные плакаты Диаграмм состояния.

**Задание:**

- 1.Изучите теоретический материал по построению Диаграммы состояния в координатах: *температура* – концентрация и составьте опорный конспект;
- 2.Изучите теоретические сведения по теме – «Диаграммы состояния 1 типа - для случая нерастворимости в твердом состоянии» и составьте опорный конспект;
- 3.Определить количество твердой и жидкой части сплава Pb-Sb, где Pb-60%, Sb-40% при  $T=395^{\circ}$
- 4.Изучите теоретические сведения по теме «Диаграмма состояния 2 типа – неограниченной растворимости компонентов в твердом виде»
- 5.Изучите теоретические сведения по теме «Диаграмма состояния сплавов для случая ограниченной растворимости компонента в твердом состоянии»
- 6.Изучите теоретические сведения по теме «Диаграмма состояния сплавов для случая образования между компонентами химического соединения»
- 7.Сделайте вывод о проделанной работе

**Краткие теоретические сведения**

Диаграммы состояния II типа характеризуют системы, компоненты которых взаимно полностью растворяются как в жидком, так и в твердом состоянии. Примером этого может служить система сплавов медь — никель (Cu — Ni).

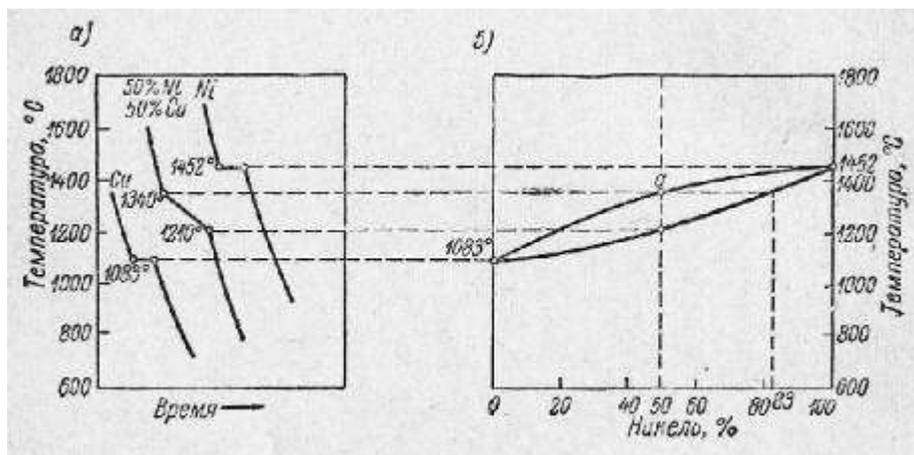


Рисунок 14 - Диаграмма состояния сплавов Медь-Никель(Cu-Ni)

Кристаллизация при постоянной температуре наблюдается только у чистых металлов, а сплавы кристаллизуются в интервале температур между ликвусом и солидусом. Для различных сплавов начало и окончание затвердевания происходит при различных температурах.

Проследим процесс затвердевания на примере сплава, содержащего 50% Cu (рис.6).

Выше точки а сплав находится в жидком состоянии. При охлаждении в точке а из жидкого раствора начинают выделяться кристаллы в виде твердого раствора меди в никеле, причем концентрация этого первоначального твердого раствора отличается от исходной повышенным содержанием высокоплавкого компонента (Ni) и может быть приблизительно определена, если из точки а провести горизонталь до пересечения с линией солидуса. В нашем примере концентрация никеля в центрах кристаллизации достигнет 83%. При дальнейшем охлаждении кристаллы твердого раствора растут неоднородными за счет жидкой фазы, непрерывно обедняющейся никелем.

При медленном охлаждении в каждый момент кристаллизации, состав самих кристаллов выравнивается за счет диффузии.

Если же охлаждение в процессе кристаллизации происходит быстро, состав внутри кристаллов не успевает выравниваться и внутренние части каждого кристалла содержат больше тугоплавкого компонента (никеля), чем внешние.

Это явление называется внутрикристаллической ликвацией.

Таким образом, ликвацией называют неоднородность химического состава сплавов, возникающую при кристаллизации.

Внутрикристаллическая ликвация может быть уничтожена отжигом, и тогда сплав — твердый раствор будет всюду иметь исходную концентрацию никеля (50%).

Следовательно, сплавы — твердые растворы в отличие от сплавов — смесей являются однофазными.

Взаимная растворимость компонентов в твердом состоянии определяется:

- 1) близостью их расположения в периодической системе Менделеева (т. е. сходностью строения электронных оболочек их атомов);
- 2) близостью атомных диаметров;
- 3) подобием формы кристаллических решеток;
- 4) близостью температуры плавления компонентов.

При уменьшении сродства компонентов по одному или нескольким из этих признаков образуются системы сплавов с ограниченной взаимной растворимостью. Характерной особенностью такой диаграммы является наличие при температурах ниже линии солидуса (т.е. для твердого состояния) линии (или линий) ограниченной растворимости

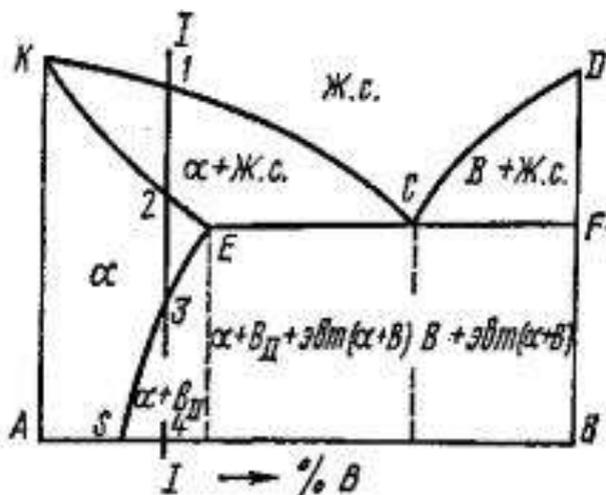


Рисунок 15 - Диаграмма состояния сплавов для случая ограниченной растворимости компонента в твердом состоянии

1. На этой диаграмме верхняя линия KCD – линия ликвидуса, показывающая температуры плавления сплавов;
2. Линия KECF – линия солидуса, показывающая температуры затвердевания сплавов.

3. Ниже линии KECF все сплавы, состоящие из компонентов А и В находятся полностью в твердом состоянии.
4. Линия SE показывает изменение растворимости с понижением температуры компонента В в компоненте А в твердом состоянии. (с понижением температуры растворимость уменьшается).
5. При кристаллизации сплава, состав которого левее точки S, при любой температуре все количество компонента В находится в твердом растворе.
6. Другой характер имеет кристаллизация и структура сплавов, состав которых находится правее точки S, т. Е. за пределом растворимости.
7. Рассмотрим для примера процессы, происходящие при охлаждении, например, сплава I – I
8. Выше температуры точки  $t_1$  сплав жидкий.
9. Ниже температуры точки  $t_1$  – начинается кристаллизация и до температуры точки  $t_2$  образуются кристаллы твердого раствора Б в А (обозначим их  $\alpha$ ).
10. В точке 2 сплав имеет структуру кристаллов  $\alpha$
11. При охлаждении до температуры  $t_3$  (от точки 2 до точки 3) происходит охлаждение сплава без изменения его структуры.
12. При температуре точки 3 линия I-I сплава пересекает линию SE предельной растворимости компонента В в А.
13. Ниже этой температуры (ниже точки 3) растворимость становится все меньшей и меньшей. Все количество компонента В уже не может находиться в растворе. Часть компонента В выходит из раствора и образует отдельные кристаллы компонента В, называемые вторичными (ВII).

Вывод: Таким образом, после полного охлаждения сплав имеет структуру, состоящую из твердого раствора  $\alpha$  и вторичных кристаллов компонента В (ВII).

Процесс выделения вторичных кристаллов из твердого раствора называется вторичной кристаллизацией, в отличие от образования кристаллов в жидком сплаве {первичная кристаллизация}.

14. В сплавах, лежащих по составу правее точки E, т. Е. на линии ECF, образуется эвтектика. Особенность этой эвтектики в том, что она представляет смесь не кристаллов А и В, а кристаллов твердого раствора  $\alpha$  и кристаллов компонента В. Диаграмма состояния сплавов для случая образования компонентами химического соединения. Химическое соединение обозначают  $AmBn$ .

Это означает, что в данном соединении на  $m$  атомов компонента А приходится  $n$  атомов компонента В.

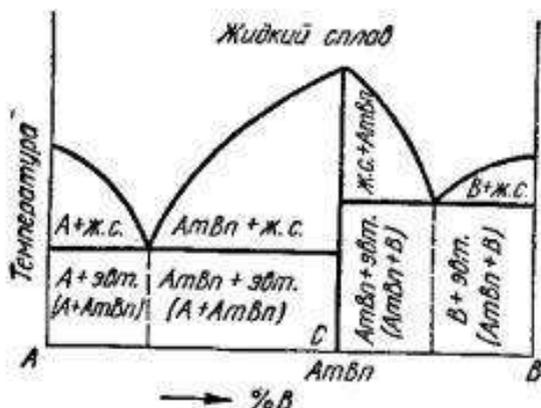


Рисунок 16- Диаграмма состояния сплавов для случая образования между компонентами химического соединения

Состав химического соединения является постоянным, т. Е. при нагреве и охлаждении не изменяется.

Диаграмма состояния сплавов для случая образования между компонентами химического соединения имеет вид, показанный на рис.8.

1. Диаграмма как бы составлена из двух диаграмм, когда образуется механическая смесь.
  2. В сплавах левее точки С (соответствующей по составу химическому соединению  $AmBn$ ) имеется компонента А больше, чем входит в химическое соединение.
  3. Следовательно, в этих сплавах левее точки С образуется механическая смесь  $AmBn + A$
  4. В сплавах правее точки С компонента В больше, чем может входить в химическое соединение.
  5. Следовательно, в этих сплавах образуется механическая смесь  $AmBn+B$
- ВЫВОД:**
6. В левой части диаграммы образуется ЭВТЕКТИКА, состоящая из кристаллов А и химического соединения  $AmBn$ , а в правой – ЭВТЕКТИКА, состоящая из кристаллов В и химического соединения  $AmBn$ .

**Порядок выполнения работы:**

- 1.Изучите теоретический материал по построению Диаграммы состояния в координатах: температура – концентрация и составьте опорный конспект;
- 2.Постройте Диаграмму состояния А-В, где А 30%, В-70%;

3. Изучите теоретические сведения по теме – «Диаграммы состояния 1 типа - для случая нерастворимости в твердом состоянии» и составьте опорный конспект;

3.1 Постройте кривые охлаждения Pb-Sb, где:

а — 5% Sb, б – 10% Sb; в — 13% Sb; г — 20% Sb; д — 40% Sb; е — 80% Sb;

3.2 Вычертите Диаграмму состояния Pb-Sb, укажите линии Ликвидуса и Солидуса, эвтектику, укажите критические точки;

3.3 Проанализируйте диаграмму состояния Pb-Sb по алгоритму:

- Выделить линию солидус.
- Под наклонным участком линии солидус находится одна фаза - твердый раствор.
- Под горизонтальной прямой линии солидус находится механическая смесь фаз, состав этой смеси на «боковых стенках», ограничивающих эту область
- Если имеется эвтектика, необходимо из т. э опустить перпендикуляр и указать состав эвтектики (ее состав находится на концах прямой эвтектического превращения).
- Если имеется линия понижения растворимости, то необходимо из ее вершины опустить перпендикуляр и указать состав выделяющейся вторичной фазы. Состав выделяющейся вторичной фазы находится на противоположном конце прямой эвтектического (эвтектоидного) превращения

4. Определить количество твердой и жидкой части сплава Pb-Sb, где Pb-60%, Sb-40% при  $T=395^{\circ}$

5. Изучите теоретические сведения по теме «Диаграмма состояния 2 типа – неограниченной растворимости компонентов в твердом виде»

6. Вычертите Диаграмму состояния Cu-Ni и проанализируйте диаграмму. Проведите фазовый анализ всех областей и определить количественное соотношение и состав фаз при заданной температуре (температура задается преподавателем).

7. Опишите все изотермические превращения в данной диаграмме.

8. Во всех областях диаграммы укажите структуры, образующиеся в сплавах данной системы в состоянии равновесия.

9. Изучите теоретические сведения по теме «Диаграмма состояния сплавов для случая ограниченной растворимости компонента в твердом состоянии»

10. Вычертите Диаграмму состояния сплавов для случая ограниченной растворимости компонента в твердом состоянии

11. Провести фазовый анализ всех областей и определить количественное соотношение и состав фаз при заданной температуре

12. Описать все изотермические превращения в данной диаграмме.

13. Во всех областях диаграммы указать структуры, образующиеся в сплавах данной системы в состоянии равновесия.

14. Изучите теоретические сведения по теме «**Диаграмма состояния сплавов для случая образования между компонентами химического соединения**»
15. Вычертите **Диаграмму состояния сплавов для случая ограниченной растворимости компонента в твердом состоянии**
16. Провести фазовый анализ всех областей и определить количественное соотношение и состав фаз при заданной температуре
17. Описать все изотермические превращения в данной диаграмме.
18. Во всех областях диаграммы указать структуры, образующиеся в сплавах данной системы в состоянии равновесия
19. Сделайте вывод о проделанной работе.

**Форма представления результата:** выполненная работа

**Критерии оценки:** зачет/незачет

#### **Тема 4.1. Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов.**

##### **Практическая работа №4**

##### **Микроанализ углеродистых сталей.**

**Цель:** изучение структуры и свойств железоуглеродистых сплавов

**Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

-обобщать, систематизировать, углублять, закреплять, детализировать полученные теоретические знания

-формировать умения применять полученные знания на практике

**Материальное обеспечение:**

1. Презентация по данной теме;
2. Компьютер, проектор, экран;

**Задание:**

1. Изучить диаграмму состояния железо-цементит.
2. Изучить превращение из жидкого состояния в твердое (первичную кристаллизацию).
3. Изучить превращение в твердом виде (вторичную кристаллизацию)
4. Охарактеризовать фазы и структурные составляющие сталей
5. Самостоятельно вычертить диаграмму состояния железо-углерод с указанием структурных составляющих, характерных температурных и критических точек.
6. Дайте характеристику всем линиям и точкам диаграммы железо-углерод
7. Рассмотреть под микроскопом, зарисовать и описать микроструктуру углеродистых сталей и серого чугуна.
8. Построить кривую охлаждения железоуглеродистого сплава с 0,2 % C и 1,2 %C с помощью правила фаз и объяснить какие фазовые превращения протекают в точках перегиба кривой

9. Определить с помощью правила отрезков количественное соотношение фаз заданного сплава с 0,4 %C и 3,4 % C при комнатной температуре (.
10. Изучить классификацию железоуглеродистых сплавов по структуре в равновесном состоянии.
11. Оформить отчёт по работе.

### Краткие теоретические сведения:

При весьма медленном охлаждении сплавов железо — углерод происходит выделение графита. Для этого случая на диаграмме, кроме сплошных линий знакомой уже нам системы железо — цементит, нанесены пунктирные линии системы железо — графит, несколько смещенные влево вверх (соответственно изменятся положение критических точек по концентрации и температуре).

Таким образом, получаются как бы две диаграммы, наложенные друг на друга, цементитная метастабильная (относительно устойчивого равновесия) и графитная стабильная (абсолютно устойчивого равновесия) — рис.16.

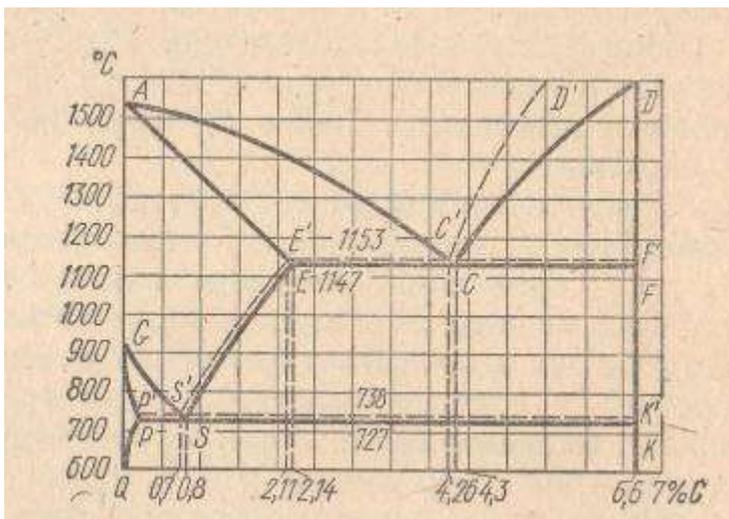


Рисунок 16 - Общий вид современной диаграммы состояния Fe-C

В применяемых сплавах Fe с C содержание C не превышает 5%. Поэтому диаграмму состояния Fe-C рассматривают не полностью от 0 до 100%, а именно до 6,67% C, что соответствует содержанию C в цементите. Такую диаграмму обычно называют железо-цементит (Fe -Fe<sub>3</sub>C)

Диаграмма состояния Fe -C(в упрощенном виде) приведена на рис. 17

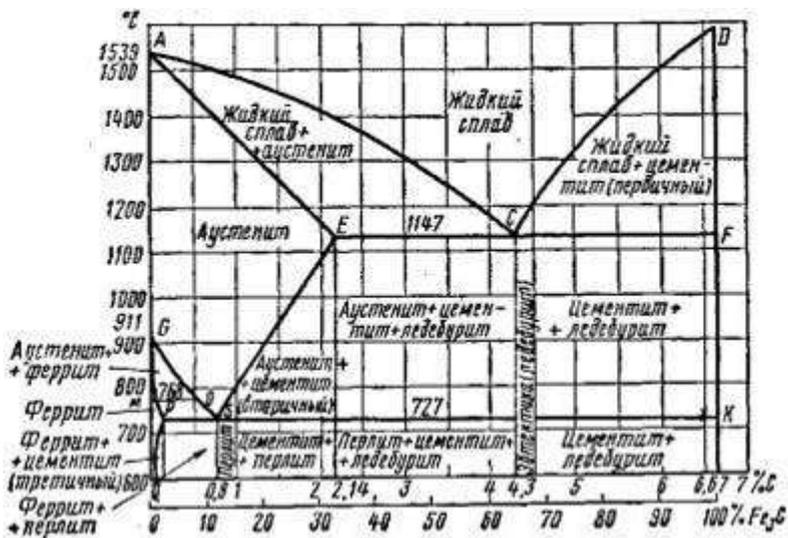


Рисунок 17 - Диаграмма состояния Fe -C(в упрощенном виде)

На этой диаграмме точка А (1539° С) соответствует температуре плавления (затвердевания) железа, а точка D (~ 1600° С) - температуре плавления (затвердевания) цементита.

Наибольшее количество углерода по диаграмме 6,67% соответствует содержанию углерода в химическом соединении — цементите. Следовательно, компонентами, составляющими сплавы этой системы, будут являться, с одной стороны, чистое железо (Fe), с другой — цементит (Fe<sub>3</sub>C).

Характеристика компонентов и фаз

Компонентами в рассматриваемой системе является железо ( Fe) и углерод (C)/

Железо является полиморфным металлом, т.е. может существовать в нескольких полиморфных формах, различающихся кристаллическими решетками.

На рис. 3приведены кривые охлаждения и нагревания чистого железа.

Железо плавится при температуре 1539°. Критические точки превращений железа обозначают буквой А, приписывая букву с — при нагревании и букву г — при охлаждении.

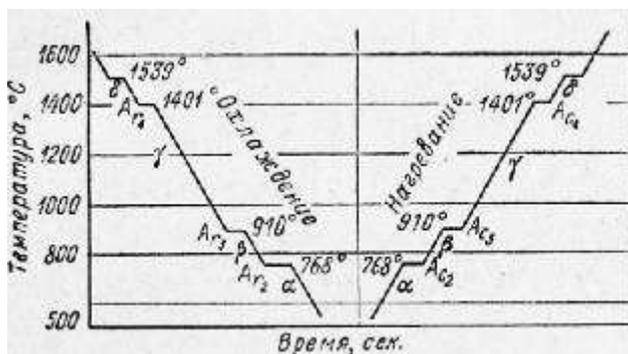


Рисунок 18 - Кривые охлаждения и нагревания чистого железа

В интервале температур  $1539-1392^{\circ}\text{C}$  существует  $\delta\text{-Fe}$  с кубической объемно-центрированной решеткой (ОЦК).

В интервале температур  $1392-911^{\circ}\text{C}$  существует  $\gamma\text{-Fe}$  с кубической гранецентрированной решеткой (ГЦК)

Ниже  $911^{\circ}\text{C}$  устойчивой модификацией является  $\alpha\text{-Fe}$  с решеткой ОЦК.

При  $768^{\circ}\text{C}$  (точка Кюри) происходит магнитное превращение без изменения кристаллической решетки

Углерод –также обладает полиформизмом и имеет две кристаллические разновидности - графит и алмаз.

При сплавлении Fe с C кроме жидкой фазы образуются различные твердые фазы. В каждой из модификаций железа может раствориться определенной количество углерода и при этом образуются твердые растворы типа внедрения, которые имеют специальные названия.

**Феррит** - твердый раствор углерода и других элементов в  $\alpha$ -железе. Феррит имеет низкую твердость и прочность и высокую пластичность. Поэтому технически чистое железо, структура которого представляет зерна феррита, хорошо подвергается холодной деформации, т. е. хорошо штампуются, прокатывается, протягивается в холодном состоянии.

Чем больше феррита в железоуглеродистых сплавах, тем они пластичнее

**Аустенит** - твердый раствор углерода и других элементов в  $\gamma$ -железе. В  $\gamma$ -железе может раствориться углерода в значительно больших количествах до 2,14% при температуре  $1147^{\circ}\text{C}$ . Характерная особенность аустенита заключается в том, что он в железоуглеродистых сплавах может существовать только при высоких температурах. Как и всякий твердый раствор, аустенит имеет микроструктуру, представляющую собой зерна твердого раствора. Аустенит пластичен, поэтому он хорошо подвергается горячей деформации, т.е. хорошо штампуются, куется, прокатывается. Кроме вышеперечисленных

твердых растворов в системе Fe-C образуются еще две высокоуглеродистые фазы: графит и цементит.

*Графит*-модификация углерода с гексагональной кристаллической решеткой, низкими прочностными свойствами. Фаза стабильная, состоит почти на 100% из атомов углерода. Температура плавления графита около 3600° С.

*Цементит* - химическое соединение железа с углеродом Fe<sub>3</sub>C (карбид железа). В цементите 6,67% С, он имеет высокую *твердость*, но чрезвычайно низкую, практически нулевую, *пластичность*. Чем больше цементита в железоуглеродистых сплавах, тем большей твердостью и меньшей пластичностью они обладают. Цементит неустойчив и при определенных условиях может распадаться, выделяя свободный углерод в виде графита. Превращение из жидкого состояния в твердое (первичная кристаллизация).

Характеристика линий и точек диаграммы

1. Линия ACD является линией ликвидуса, показывающая температуры начала затвердевания (конца плавления) сталей и белых чугунов. Линия AECF — линией солидуса, показывающая температуры конца затвердевания (начала плавления).
2. Форма этих линий показывает, что перед нами сложная диаграмма, представляющая сочетание диаграммы типа II (от точки А до точки Е) и диаграммы типа I (от точки Е до точки F).  
Выше линии ACD сплавы системы находятся в жидком состоянии (Ж).
3. По линии AC из жидкого раствора начинают выпадать кристаллы твердого раствора углерода в  $\gamma$ (гамма)железе, называемого аустенитом (А) (по имени У Робертса-Аустена, англ. металлурга).
4. Следовательно, в области ACE будет находиться смесь двух фаз — жидкого раствора (Ж) и аустенита (А).
5. По линии CD из жидкого раствора начинают выпадать кристаллы цементита (Ц); в области диаграммы CFD находится смесь двух фаз — жидкого раствора (Ж) и цементита (Ц), называемый первичным цементитом.
6. В точке С при *содержании 4,3% С и температуре 1130°* происходит одновременно кристаллизация аустенита и цементита и образуется их тонкая механическая смесь — эвтектика, называемая в этой системе ледобуритом (нем.металлург А.Ледебур).
7. Ледобурит (эвтектика) присутствует во всех сплавах, содержащих от 2,0 до 6,67% углерода. Эти сплавы относятся к группе чугуна.
8. Точка Е соответствует предельному насыщению железа углеродом (2,0%). Сплавы, лежащие левее этой точки, после полного затвердевания представляют один аустенит. Эти сплавы относятся к группе - стали.

Превращения в твердом состоянии (вторичная кристаллизация).

1. Линии GSE, PSK и GPQ показывают, что в системе сплавов в *твердом* состоянии происходят изменения структуры. Превращения в твердом состоянии происходят вследствие перехода железа из одной модификации в другую, а также в связи с изменением растворимости углерода в железе.

2. В области диаграммы AGSE находится аустенит (А). При охлаждении сплавов аустенит начинает распадаться с выделением по линии GS феррита (Ф)—твердого раствора углерода в  $\alpha$ -железе, а по линии SE — цементита (Ц). Этот цементит, выпадающий из твердого раствора, называется вторичным в отличие от первичного цементита, выпадающего из жидкого раствора.

3. В области диаграммы GSP находится смесь двух фаз — феррита (Ф) и распадающегося аустенита (А), а в области SEE1 — смесь вторичного цементита и распадающегося аустенита.

4. В точке S при содержании 0,8% (точнее 0,83%) С и при температуре 723° весь аустенит распадается и одновременно кристаллизуется тонкая механическая смесь феррита и цементита — эвтектоид, который в этой системе называется перлитом.

Сталь, содержащая 0,8% С, называется эвтектоидной, менее 0,8% С — доэвтектоидной, от 0,8 до 2,0% С — заэвтектоидной.

5. По линии PSK происходит распад всего аустенита, оставшегося в любом сплаве системы, с образованием перлита; поэтому линия PSK называется линией перлитного (эвтектоидного) превращения.

Сравнивая между собой превращения в точках С и S диаграммы можно отметить следующее:

а) выше точки С находится жидкий раствор, выше точки S — твердый раствор — аустенит;

б) в точке С сходятся ветви AC и CD, которые указывают начало выделения кристаллов из жидкого раствора (первичной кристаллизации); в точке S сходятся ветви GS и ES, указывающие начало выделения кристаллов из твердого раствора (вторичной кристаллизации);

в) в точке С жидкий раствор, содержащий 4,3% С, кристаллизуется с образованием эвтектики — ледебурита; в точке S твердый раствор, содержащий 0,8% С, кристаллизуется с образованием эвтектоида — перлита;

г) на уровне точки С лежит прямая EF эвтектического (ледебуритного) превращения, на уровне точки S — прямая PK эвтектоидного перлитного превращения

### **Порядок выполнения работы**

1. Составьте опорный конспект по теоретическим сведениям «диаграмма состояния железо-цементит».

2. Самостоятельно вычертите диаграмму состояния железо-углерод с указанием структурных составляющих, характерных температурных и критических точек.
3. Дайте характеристику всем линиям и точкам диаграммы железо-углерод
4. Охарактеризуйте фазы и структурные составляющие сталей и чугунов в равновесном состоянии.
5. Рассмотрите под микроскопом, зарисуйте и опишите микроструктуру углеродистых сталей и серого чугуна.
6. Постройте кривую охлаждения железоуглеродистого сплава с 0,2 %C и 1,2 %C с помощью правила фаз и объясните какие фазовые превращения протекают в точках перегиба кривой
7. Определите с помощью правила отрезков количественное соотношение фаз заданного сплава с 0,4 %C и 3,4 % C при комнатной температуре .
8. Изучите классификацию железоуглеродистых сплавов по структуре в равновесном состоянии.
9. Оформите отчет по работе.

**Форма представления результата:** выполненная работа

**Критерии оценки:** зачет/незачет

#### **Тема 4.1. Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов.**

##### **Практическая работа №5**

##### **Микроанализ белых чугунов в равновесном состоянии**

**Цель:** изучение структуры и свойств белых чугунов в равновесном состоянии на основе диаграммы состояния железо-углерод (Fe3C).

**Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

- обобщать, систематизировать, углублять, закреплять, детализировать полученные теоретические знания
- формировать умения применять полученные знания на практике

**Материальное обеспечение:**

1. Презентация по данной теме;
2. Компьютер, проектор, экран;
3. Электронные плакаты Диаграмм состояния

**Задание:**

1. Изучить диаграмму состояния железо-цементит.
2. Изучить превращение из жидкого состояния в твердое (первичную кристаллизацию).
3. Изучить превращение в твердом виде (вторичную кристаллизацию)
4. Охарактеризовать фазы и структурные составляющие сталей и чугунов в равновесном состоянии.

5. Самостоятельно вычертить диаграмму состояния железо-углерод с указанием структурных составляющих, характерных температурных и критических точек.
6. Изучить классификацию железоуглеродистых сплавов по структуре в равновесном состоянии.
7. Оформить отчёт по работе.

### **Порядок выполнения работы**

1. Составьте опорный конспект по теоретическим сведениям «диаграмма состояния железо-цементит».
2. Самостоятельно вычертите диаграмму состояния железо-углерод с указанием структурных составляющих, характерных температурных и критических точек.
3. Дайте характеристику всем линиям и точкам диаграммы железо-углерод
4. Охарактеризуйте фазы и структурные составляющие сталей и чугунов в равновесном состоянии.
5. Рассмотрите под микроскопом, зарисуйте и опишите микроструктуру углеродистых сталей и серого чугуна.
6. Изучите классификацию железоуглеродистых сплавов по структуре в равновесном состоянии.
7. Оформите отчёт по работе.

**Форма представления результата:** выполненная работа

**Критерии оценки:** зачет/незачет

### **Тема 4.1. Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов.**

#### **Практическая работа №9**

#### **Микроанализ белых чугунов в равновесном состоянии**

**Цель:** изучение структуры и свойств белых чугунов в равновесном состоянии на основе диаграммы состояния железо-углерод ( $Fe_3C$ ).

#### **Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

- обобщать, систематизировать, углублять, закреплять, детализировать полученные теоретические знания
- формировать умения применять полученные знания на практике

#### **Материальное обеспечение:**

1. Презентация по данной теме;
2. Компьютер, проектор, экран;
3. Электронные плакаты Диаграмм состояния

### **Задание:**

8. Изучить диаграмму состояния железо-цементит.
9. Изучить превращение из жидкого состояния в твердое (первичную кристаллизацию).
10. Изучить превращение в твердом виде (вторичную кристаллизацию)
11. Охарактеризовать фазы и структурные составляющие сталей и чугунов в равновесном состоянии.
12. Самостоятельно вычертить диаграмму состояния железо-углерод с указанием структурных составляющих, характерных температурных и критических точек.
13. Изучить классификацию железоуглеродистых сплавов по структуре в равновесном состоянии.
14. Оформить отчет по работе.

### **Порядок выполнения работы**

8. Составьте опорный конспект по теоретическим сведениям «диаграмма состояния железо-цементит».
9. Самостоятельно вычертите диаграмму состояния железо-углерод с указанием структурных составляющих, характерных температурных и критических точек.
10. Дайте характеристику всем линиям и точкам диаграммы железо-углерод
11. Охарактеризуйте фазы и структурные составляющие сталей и чугунов в равновесном состоянии.
12. Рассмотрите под микроскопом, зарисуйте и опишите микроструктуру углеродистых сталей и серого чугуна.
13. Изучите классификацию железоуглеродистых сплавов по структуре в равновесном состоянии.
14. Оформите отчет по работе.

**Форма представления результата:** выполненная работа

**Критерии оценки:** зачет/незачет

## **Тема 4.3 Чугуны**

### **Практическая работа №6**

#### **Микроанализ серых, высокопрочных, ковких чугунов.**

**Цель:** изучение структуры и свойств серых, высокопрочных, ковких чугунов в равновесном состоянии на основе диаграммы состояния железо-углерод (Fe3C).

**Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

-обобщать, систематизировать, углублять, закреплять, детализировать полученные теоретические знания

-формировать умения применять полученные знания на практике

**Материальное обеспечение:**

1. Презентация по данной теме;
2. Компьютер, проектор, экран;
3. Электронные плакаты Диаграмм состояния

**Задание:**

1. Для каждого сплава обозначить критические точки и построить кривую охлаждения в координатах время - температура.
2. На кривой охлаждения указать фазовый состав сплава в разных температурных интервалах.
3. Проанализировать превращения, протекающие в сплавах при охлаждении, и зарисовать схему структуры сплавов после охлаждения.
4. Указать структуру при комнатной температуре доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной стали и температурный интервал в котором при охлаждении образуется каждая структурная составляющая.
5. Указать структуру при комнатной температуре доэвтектического, эвтектического и заэвтектического чугуна и температурный интервал, в котором при охлаждении образуется каждая структурная составляющая.
6. Сделать выводы по работе

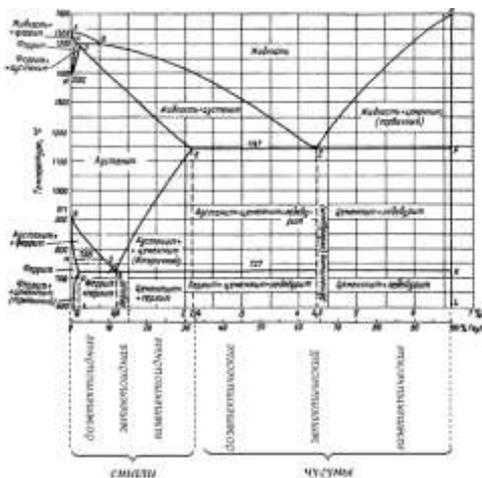


Рисунок 19 - Диаграмма состояния Fe-Fe<sub>3</sub>C (стали и чугуны)

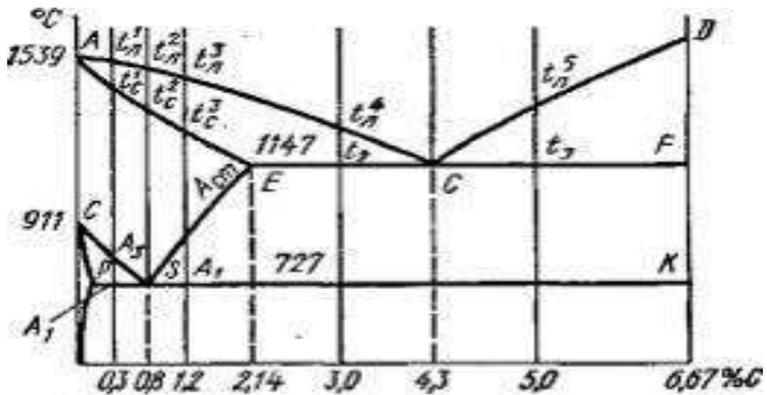


Рисунок 20- Диаграмма состояния Fe-Fe<sub>3</sub>C(критические точки )

### 1. Эвтектоидная сталь

Выше точки а сплав находится в жидком состоянии. При охлаждении в точке а на линии ликвидуса начнут выделяться первые кристаллы аустенита, содержащие меньше 0,8% С. Между точками а и б количество маточного раствора (жидкой фазы) постепенно уменьшается до нуля, а концентрация углерода в нем постепенно увеличивается; одновременно растут кристаллы аустенита, и около точки б (линия солидуса) первичная кристаллизация заканчивается.

В точке S однородный аустенит распадается и образуется смесь цементита и феррита — перлит.

На рисунке 21 приведена микроструктура перлита при большом увеличении; здесь ясно видно равномерное распределение цементита (темные участки) по светлому полю феррита. Итак, эвтектоидная сталь по структуре представляет один перлит.

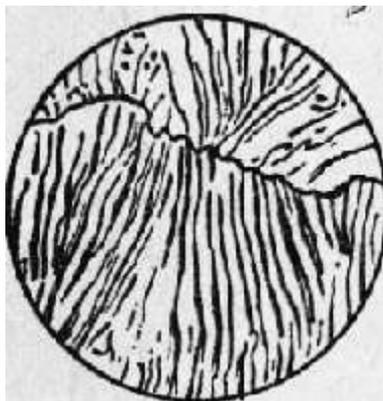


Рисунок 21 - Эвтектоидная сталь

## 2. Доэвтектоидная сталь (0,3%С)

А) В точках  $a_1$  и  $b_1$  происходят превращения, аналогичные превращениям эвтектоидной стали в точках  $a$  и  $b$ .

Б) В точке  $c_1$  на линии GOS начинается вторичная кристаллизация стали — выделение феррита и аллотропический переход  $\gamma$ -железа в  $\alpha$ -железо. Температуру превращения сплавов по линии GOS для краткости обозначают через  $A_3$ .

В) В точке  $d_1$  при температуре  $768^\circ$  происходит магнитное превращение выпавших кристаллов феррита, т. е. немагнитный феррит становится магнитным. Критические температуры превращения сплавов по линии MO обозначают через  $A_2$ .

В связи с выпадением кристаллов феррита количество углерода в остающемся аустените постепенно увеличивается и к точке  $e_1$  доходит до эвтектоидного состава (0,8%С).

Концентрация углерода в аустените при любой температуре между точками  $c_1$  и  $e_1$  может быть определена проекцией на линию GOS.

Г) В точке  $e_1$  выпадение кристаллов феррита заканчивается и происходит распад оставшегося аустенита в смесь феррита и цементита — перлит. Температуру превращения сплавов по линии PSK (эвтектоидное превращение) обозначают через  $A_1$ .

Д) Ниже точки  $A_1$  происходит выделение цементита из феррита; этот цементит называют третичным. С выделением третичного цементита содержание углерода в феррите постепенно понижается от 0,025% при  $723^\circ$  до 0,006% при  $0^\circ$ .

Таким образом, в структуру доэвтектоидной стали, содержащей более 0,025% углерода, входят перлит и феррит, а при содержании меньше 0,025% углерода — феррит и цементит третичный (Рис.22)



Рисунок 22 - Микроструктура доэвтектоидной стали

### 3. Заэвтектоидная сталь

А) При охлаждении заэвтектоидной стали, например стали с 1,2% углерода (Рис. 33), в точке  $c_2$  начинается вторичная кристаллизация цементита из аустенита. Температуру превращения по линии SE обозначают через Аст.

Количество углерода в аустените между точками  $c_2$  и  $e_2$  непрерывно уменьшается, так как кристаллы цементита содержат 6,67% С.

Б) В точке  $e_2$  происходит эвтектоидное превращение аустенита. Таким образом, в структуру заэвтектоидной стали входят перлит и цементит вторичный (избыточный) (Рис.23) Здесь цементит образует тонкую сетку игл на поле перлита. Избыточный цементит в структуре стали никогда не занимает больших участков, и заэвтектоидная сталь в основном состоит из перлита.

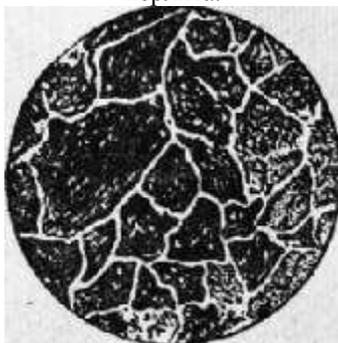


Рисунок 23 - Микроструктура заэвтектоидной стали

При кристаллизации чугунов – С может выделяться в двух видах:

1. В связанном состоянии в виде цементита  $Fe_3C$ . Излом таких чугунов имеет светлый, блестящий. Поэтому такие чугуны называются белыми

2. При весьма медленном охлаждении сплавов железо — углерод происходит выделение углерода в свободном состоянии в виде графита. Излом таких чугунов имеет серый цвет. Такие чугуны называют серыми.

Структура белого чугуна.

Белые чугуны кристаллизуются по диаграмме состояния системы сплавов железо — цементит.

### 1. Эвтектический чугун:

А) при охлаждении сплава с содержанием 4,3% С в точке С диаграммы образуется эвтектика цементита и аустенита — ледебурит

Б) при охлаждении от  $T$ -ры точки С до  $T$ -ры линии РК аустенит в ледебурите будет распадаться с выделением вторичного цементита, и концентрация углерода в этом аустените будет уменьшаться от 2,0 до 0,8% (в соответствии с линией ES)

В) При  $T$ -ре линии РК происходит перлитное превращение оставшегося аустенита.

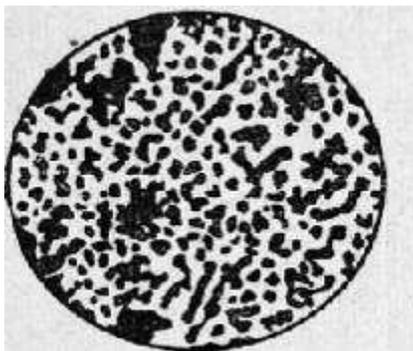


Рисунок 24 - Структура эвтектического чугуна

Чугуны, содержащие 4,3% С, называются эвтектическими.

2) В доэвтектическом чугуне (3%) :

А) При температуре в точке  $a_1$  из жидкого раствора выделяются кристаллы аустенита.

Б) Между точками  $a_1$  и  $b_1$  кристаллы аустенита растут, а концентрация углерода в маточном растворе увеличивается до эвтектического состава (4,3%).

В) При температуре в точке  $b_1$  происходит затвердевание всего оставшегося раствора с образованием ледебурита.

Г) При дальнейшем *охлаждении от* точки  $b_1$  до  $c_1$  происходит вторичная кристаллизация аустенита, входящего в состав ледебурита.



Рисунок 25 - Структура доэвтектического чугуна

3) При охлаждении заэвтектического чугуна (5% C):

А) в точке  $a_2$  начинается кристаллизация цементита.

Б) Между точками  $a_2$  и  $b_2$  кристаллы цементита растут, а концентрация углерода в маточном растворе уменьшается до эвтектического состава (4,3%);

В) в точке  $b_2$  происходит затвердевание всего оставшегося раствора с образованием ледебурита.

Г) между точками  $b_2$  и  $c_2$  происходит вторичная кристаллизация аустенита, входящего в состав ледебурита.

Заэвтектические чугуны как технические сплавы применяются редко ввиду их чрезмерной хрупкости.

Значительное количество твердого и хрупкого цементита в составе белых чугунов является причиной того, что эти чугуны трудно поддаются механической обработке. Они применяются для отливки деталей с последующим отжигом на ковкий чугун, а также для отливки прокатных валков и вагонных колес, причем как в валках, так и в колесах белый чугун образуется не во всей толще, а лишь в поверхностном слое; внутри отливки образуется серый чугун

Заданный сплав с содержанием углерода -  $C = 3,8\%$  - это доэвтектический чугун.

1. Построение кривой охлаждения сплава

2. Превращения в сплаве при медленном охлаждении

Доэвтектический чугун (3,8 % углерода) охлаждается до температуры линии ликвидус в жидком состоянии. Первичная кристаллизация начинается на ликвидусе (точка-1) с выделения из жидкости аустенита.

При охлаждении в интервале температур точек 1-2 количество аустенита увеличивается и соответствует при температуре точки 2 отрезку 2-

С, а концентрация углерода в нем, изменяясь по линии солидус - JE, достигает предельной растворимости, равной 2,14 % (проекция точки E).

Одновременно к концу кристаллизации сохраняется некоторое количество жидкости (отрезок E-2), концентрация углерода в которой, изменяясь по линии ликвидус BC, соответствует эвтектическому составу (4,3 % углерода). В результате первичная кристаллизация завершается при температуре точки 2 (1147 °С) эвтектическим превращением; оставшаяся жидкость затвердевает в ледебурит на аустенитной основе (аустенитно-цементитная смесь).

После кристаллизации сплав имеет структуру: аустенит и ледебурит на аустенитной основе (A + Л<sub>A</sub>). При дальнейшем охлаждении в интервале точек 2-3, вследствие уменьшения растворимости углерода в аустените по линии ES, из аустенита выделяется цементит вторичный; аустенит при этом обедняется углеродом до 0,8 %. При температуре точки 4 (727 °С) аустенит, получивший эвтектоидный химический состав, превращается в перлит. Поскольку это превращение претерпевает и аустенит, входящий в состав ледебурита, то ледебурит на аустенитной основе становится ледебуритом на перлитной основе (перлитно-цементитная смесь). Окончательная структура сплава после охлаждения — перлит, ледебурит на перлитной основе и цементит вторичный (П + Лп + Ц<sub>2</sub>).

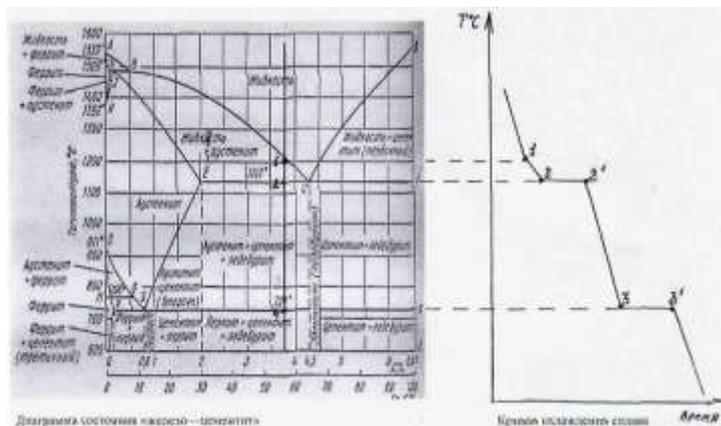


Рисунок 26 - Диаграмма состояния «железо-цементит»;

**Форма представления результата:** выполненная работа

**Критерии оценки:** зачет/незачет

**Тема 5.2 Легированные стали**  
**Практическая работа №7**  
**Микроанализ легированных сталей**

**Цель:** изучить микроструктуры легированных сталей; установить взаимосвязь между структурой сплава и его свойствами.

**Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

-обобщать, систематизировать, углублять, закреплять, детализировать полученные теоретические знания

-формировать умения применять полученные знания на практике

**Материальное обеспечение:**

1. Презентация по данной теме;

2. Компьютер, проектор, экран;

3. Электронные плакаты

**Задание:**

1. Изучить теоретический материал
2. Изучить микроструктуры легированной стали
3. Написать вывод по выполненной работе

**Краткие теоретические сведения**

Легированными сталями называются стали, содержащие в своем составе, кроме железа и углерода, специально введенные элементы, которые способны изменить ее строение, а следовательно, и свойства. Для легирования стали наиболее часто применяют хром, никель, марганец, кремний, вольфрам, ванадий, молибден, титан и др.

Все элементы, которые растворяются в железе, влияют на температурный интервал существования его аллотропических (полиморфных) модификаций, т. е. сдвигают точки  $A_3$  и  $A_4$  по температурной шкале.

К первой группе легирующих элементов, которые повышают точку  $A_4$  и снижают точку  $A_3$ , расширяя тем самым область существования g-модификации железа и сужая область существования a-модификации относят: Mn, Ni, Co, Pt.

Ко второй группе элементов, которые понижают  $A_4$  и повышают  $A_3$ , сужая область существования g-модификации железа и расширяя область существования a-

Легирующие элементы Ni и Mn, смещают линии **PSK**, **GS** и **SE** диаграммы Fe – Fe<sub>3</sub>C в сторону более низких температур, а элементы.

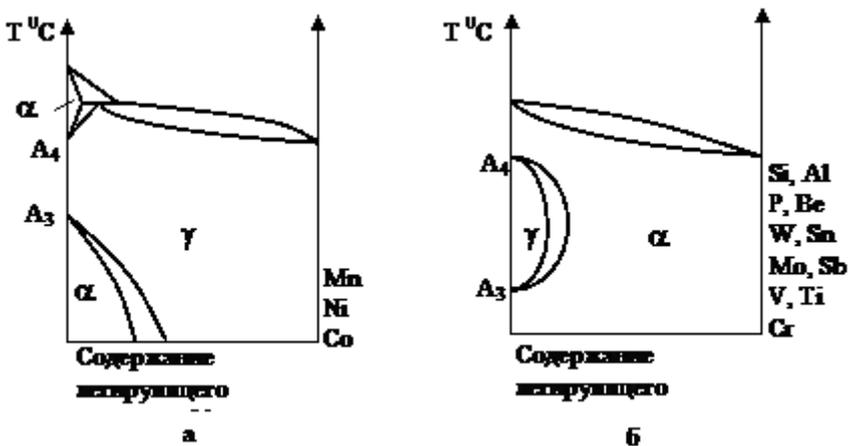


Рисунок 27 – Влияние легирующих элементов на полиморфизм железа

Легирующие элементы оказывают значительное влияние на эвтектоидную концентрацию углерода (точка *S* диаграммы состояния Fe–Fe<sub>3</sub>C) и предельную растворимость углерода в  $\gamma$ -железе (точка *E*). Такие элементы, как Ni, Co, Si, W, Mo, Cr, Mn, сдвигают точки *S* и *E* влево, в сторону меньшего содержания углерода, а V, Ti, Nb наоборот – смещают их вправо, т.е. повышают концентрацию углерода в эвтектоиде. Например, при содержании в стали 5 % Cr, концентрация углерода в эвтектоиде (точка *S*) снижается с 0,81 % до 0,5 %, а предельная растворимость углерода в аустените (точка *E*) – с 2,14 % до 1,3 %. При 10 % Cr – точке *S* будет соответствовать 0,25 , 0,3 % C, а точке *E* – 0,1 % C. В промышленных легированных сталях, которые являются многокомпонентными системами, легирующие элементы могут находиться:

- а) в форме раствора в железе;
- б) в карбидной фазе – в виде раствора в цементите или в виде самостоятельных соединений с углеродом – специальных карбидов;
- в) в форме интерметаллических соединений с железом или между собой.

#### Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретический материал
2. Изучить микроструктуру легированных сталей
3. Заполнить сводную обобщающую таблицу 1
4. Написать вывод по выполненной работе

**Форма представления результата:** выполненная работа

**Критерии оценки:** зачет/незачет

## **Тема 5.2 Легированные стали**

### **Практическая работа № 8**

#### **Определение видов сталей по маркировке. Выбор марки легированных сталей для деталей в зависимости от условий их работы**

**Цель:** научиться определять марку стали по маркировке

**Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

-обобщать, систематизировать, углублять, закреплять, детализировать полученные теоретические знания

-формировать умения применять полученные знания на практике

**Материальное обеспечение:**

1. Презентация по данной теме;

2. Компьютер, проектор, экран;

3. Электронные плакаты

**Задание:**

1. Изучить теоретический материал
2. Изучить маркировку сталей
3. Написать вывод по выполненной работе

#### **Краткие теоретические сведения**

Сталь представляет собой сплав железа с углеродом, при этом содержание последнего в ней составляет не более 2,14%. Углерод придает сплаву твердость, но при его избытке металл становится слишком хрупким.

Включая в состав стали легирующие элементы, ей можно придать требуемые характеристики. Именно таким образом, комбинируя вид и количественное содержание добавок, получают марки, обладающие улучшенными механическими свойствами, коррозионной устойчивостью, магнитными и электрическими характеристиками. Конечно, улучшать характеристики сталей можно и при помощи термообработки, но легирующие добавки позволяют делать это более эффективно.

Классификация сталей осуществляется и по их назначению. Так, выделяют инструментальные и конструкционные виды, марки, отличающиеся особыми физическими свойствами. Инструментальные виды используются для производства штамповых, мерительных, а также режущих инструментов, конструкционные – для выпуска продукции, применяемой в строительстве и сфере машиностроения. Из сплавов, отличающихся особыми физическими свойствами (также называемых прецизионными), изготавливают изделия, которые должны обладать особыми характеристиками (магнитными, прочностными и др.).

Стали противопоставляются друг другу и по особым химическим свойствам. К сплавам данной группы относятся нержавеющие, окалиностойкие, жаропрочные и др. Что характерно, нержавеющие стали могут быть коррозионностойкими и нержавеющими пищевыми – это разные категории.

Кроме полезных элементов, сталь включает и вредные примеси, к основным из которых относятся сера и фосфор. В ней также находятся газы в несвязанном состоянии (кислород и азот), что негативно отражается на ее характеристиках.

Если рассматривать основные вредные примеси, то фосфор увеличивает хрупкость сплава, особенно сильно проявляющуюся при низких температурах (так называемая хладноломкость), а сера вызывает появление трещин в металле, нагретом до высокой температуры (красноломкость). Фосфор, ко всему прочему, значительно уменьшает пластичность нагретого металла. По количественному содержанию этих двух элементов выделяют стали обыкновенного качества (не более 0,06–0,07% серы и фосфора), качественные (до 0,035%), высококачественные (до 0,025%) и особовысококачественные (сера – до 0,015%, фосфор – до 0,02%).

Маркировка сталей также указывает на то, в какой степени из их состава удален кислород. По уровню раскисления выделяют стали:

- спокойного типа, обозначаемые буквосочетанием «СП»;
- полуспокойные – «ПС»;
- кипящие – «КП».

Расшифровать марку стали довольно просто, необходимо только владеть определенными сведениями. Конструкционные стали, обладающие обыкновенным качеством и не содержащие легирующих элементов, маркируют буквосочетанием «Ст». По цифре, идущей после букв в названии марки, можно определить, сколько в таком сплаве углерода (исчисляется в десятых долях процента). За цифрами могут идти буквы «КП»: по ним становится ясно, что данный сплав не до конца прошел процесс раскисления в печи, соответственно, он относится к категории кипящего. Если название марки не содержит таких букв, то сталь соответствует категории спокойной.

Прежде чем приступить к рассмотрению марок тех сталей, которые включают легирующие добавки, следует разобраться в том, как данные добавки обозначаются. Маркировка легированных сталей может включать такие буквенные обозначения:

# СТАЛИ

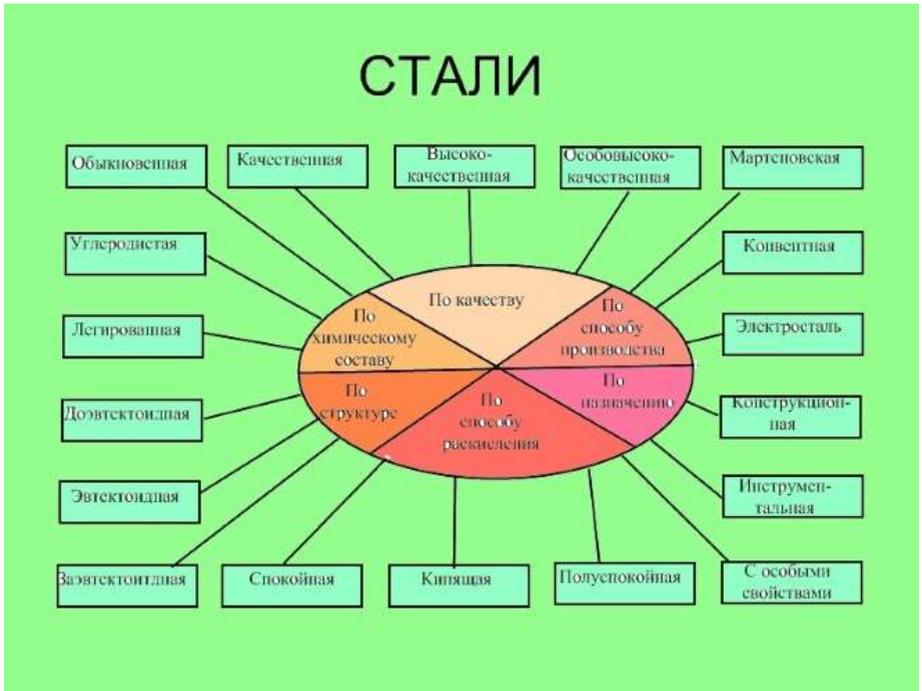


Рисунок 28 – Виды сталей



Рисунок 29 – Классификация сталей по назначению

Марка стали	C%	S≤	P≤
Ст 0	≤0,23	0,07	0,055
Ст1	0,06-0,12	0,045	0,055
Ст2	0,09-0,15	0,045	0,055
Ст3	0,14-0,22	0,045	0,055
Ст4	0,18-0,27	0,045	0,055
Ст5	0,28-0,37	0,045	0,055
Ст6	0,38-0,49	0,045	0,055
Ст7	0,50-0,62	0,045	0,055

Рисунок 30- Химический состав углеродистых сталей

Для эффективного использования легированных сталей необходимо понимать их положительные стороны и недостатки по сравнению с углеродистыми сталями.

1. Положительные особенности легированных сталей обнаруживаются в термически обработанном состоянии. Поэтому из легированных сталей изготавливаются детали, обязательно подвергаемые термической обработке.

2. В термически обработанном состоянии (закалка + отпуск) все легированные стали обнаруживают более высокие показатели сопротивления пластическим деформациям по сравнению с углеродистыми сталями при равном содержании углерода.

3. Большинство легирующих элементов стабилизируют аустенит (увеличивают его устойчивость). В связи с этим при прочих равных условиях прокаливаемость легированных сталей выше, чем углеродистых. Поэтому нагруженные детали крупного сечения следует изготавливать из легированной конструкционной стали, выбирая при этом сталь такого состава, которая в заданном сечении прокаливается насквозь.

4. В связи с тормозящим действием легирующих элементов на распад аустенита выявляется и другая положительная особенность легированных сталей — возможность применения при закалке мягких охладителей (масла).

Закалка в масле в значительной степени снижает брак по закалочным трещинам и короблению. Поэтому при необходимости проведения термической обработки изделий сложной формы, даже когда эти изделия

имеют небольшое сечение, применение легированных сталей предпочтительно, так как уменьшается вероятность брака.

**5.** Повышение запаса вязкости и сопротивления хладноломкости легированной стали после закалки и отпуска за счет легирования (особенно никелем), вследствие чего увеличивается эксплуатационная надежность деталей машин.

**6.** В высокоотпущенном состоянии влияние легирующих элементов на хрупкую прочность определяется тем, как эти элементы влияют на коагуляцию карбидов и на ферритную фазу. Особенно благоприятное воздействие оказывает никель, резко снижающий порог хладноломкости. Такое влияние никеля имеет место и в сложнолегированных сталях, в составе которых присутствует этот элемент.

Однако легированные стали имеют и специфические недостатки.

**1.** Многие легированные стали подвержены обратимой отпускной хрупкости.

**2.** В высоколегированных сталях после закалки имеется повышенное количество остаточного аустенита, что снижает твердость, сопротивление усталости. Для устранения  $A_{ост}$  требуется дополнительная обработка.

**3.** Легированные стали больше углеродистых сталей склонны к дендритной ликвации, так как скорость диффузии легирующих элементов в железе мала. Поэтому при кристаллизации дендриты обедняются легирующими элементами, междендритный материал обогащается ими. Послековки, прокатки таких сталей образуется характерная строчечная структура и увеличивается неоднородность свойств стали вдоль и поперек направления деформирования. Сталь с такой структурой обладает также плохой обрабатываемостью резанием.

Легированные стали, будучи прочными по сравнению с углеродистыми, в большинстве случаев при равном содержании углерода имеют худшую обрабатываемость резанием. Это же затрудняет обработку давлением легированных сталей. Результат ликвации сказывается и после термической обработки стали.

**4.** Весьма опасным пороком легированных сталей являются флокены (особенно в сталях, легированных никелем). Флокены представляют собой светлые пятна в изломе. В поперечном сечении флокены обнаруживаются в виде мелких трещин с различной ориентацией. Причиной возникновения флокенов является выделение водорода, растворенного в стали.

Растворимость водорода в стали уменьшается с понижением температуры. Если охлаждение стали медленное, то водород, выделяющийся из стали, успеет

продиффундировать через толщу слитка и флокены не образуются. При сравнительно быстром охлаждении водород не успевает продиффундировать и остается в стали, создавая большие внутренние давления, приводящие к образованию трещин. Если в стали происходят также фазовые превращения, которые протекают одновременно в различных участках слитков из-за неоднородности состава, то появляются дополнительно еще и фазовые напряжения, усугубляющие флокенообразование. Мерами борьбы с флокенами являются уменьшение содержания водорода в стали при ее выплавке и медленное охлаждение слитков в области температур флокенообразования (от 200 °С и ниже), а также изотермический отжиг слитков. Сталь, в которой флокены уже образовались, можно исправить прокаткой или ковкой заготовки на более мелкие сечения. При горячей обработке давлением флокены свариваются.

5. Легированные стали дороже углеродистых. Стали, содержащие никель, кроме того, являются дефицитными. В таблицах в столбце «Индекс стоимости» приводятся данные об относительной стоимости некоторых легированных сталей. За единицу принята стоимость стали Ст3.

Вид термической обработки	Цель термической обработки	Температура нагрева	Способ охлаждения	Получаемая структура	Готовые изделия

### Порядок выполнения работы

1. Изучив теоретический материал, составьте конспект
2. Напишите вывод по выполненной работе

**Форма представления результата:** выполненная работа

**Критерии оценки:** зачет/незачет