

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Хоменко Елена Семеновна

Должность: исполняющая обязанности заведующей филиалом, начальник отдела

учебно-производственной работы

Дата подписания: 03.11.2023 04:43:12

Уникальный программный ключ:

03c04d4933a2307f9c20d0107fe3c7a0c84980be

Министерство образования и науки Республики Саха (Якутия)

ГБПОУ РС (Я) «Ленский технологический техникум»

филиал «Пеледуйский»

Методические рекомендации по выполнению практических работ  
по учебной дисциплине ОП.07 «Материаловедение»  
для студентов очного отделения среднего профессионального образования  
по профессии 26.02.03 «Судовождение»

Методические рекомендации по выполнению практических работ, разработаны в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта. Основной профессиональной образовательной программы по специальности среднего профессионального образования 26.02.03 «Судовождение» и на основании Положения об организации практической работы в техникуме и методических рекомендаций об организации практической работы в условиях реализации ФГОС, утвержденных Методическим советом ГБПОУ РС (Я) «Ленский технологический техникум» филиал «Пеледуйский».

Организация-разработчик:

Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение Республики Саха (Якутия) «Ленский технологический техникум» филиал «Пеледуйский»

Разработчик: Филимонов Д.Б., мастер производственного обучения

Рассмотрена и рекомендована предметно – цикловой комиссией филиала «Пеледуйский»

Протокол № 2 «27» сентября 2023г.

Председатель ПЦК  /Вавилова Е.Ю. /

Методические рекомендации по дисциплине ОП.07 «Материаловедение» по выполнению практических работ созданы в помощь для работы на занятиях, подготовки к практическим работам. Приступая к выполнению практической работы, студенты должны внимательно прочитать цель и задачи занятия, ознакомиться с требованиями к уровню подготовки в соответствии с ФГОС, краткими теоретическими и учебно-методическими материалами по теме практической работы ответить на вопросы для закрепления теоретического материала. Методические рекомендации по выполнению практических работ адресованы студентам очной формы обучения.

Методические рекомендации включают в себя учебную цель, перечень образовательных результатов, задачи, обеспеченность занятия, краткие теоретические и учебно-методические материалы по теме, вопросы для закрепления теоретического материала, задания для практического занятия студентов и инструкцию по ее выполнению, методику анализа полученных результатов, порядок и образец отчета о проделанной работе

## СОДЕРЖАНИЕ

Название практических занятий	Страницы
1. Термическая обработка углеродистой стали.	12
2. Изучение структуры и свойств чугуна.	14
3. Изучение структуры и свойств углеродистых сталей.	12
4. Изучение структуры и свойств легированных сталей.	17

**Раздел 1. Физико-химические основы материаловедения**  
**Тема: Термическая и химико-термическая обработка металлов и сплавов**  
**Название практического занятия: Термическая обработка углеродистой стали. (4 часа)**

**Учебная цель:** Научиться определять по диаграмме состояния возможность проведения термической обработки сплавов, их упрочнения.

**Учебные задачи:**

1. Изучить основные разновидности диаграмм состояния двойных сплавов.
2. Ознакомиться с возможностью проведения термической обработки сплавов, их упрочнения

**Требования к результатам усвоения учебной дисциплины:**

Студент должен

уметь:

- давать характеристику сплавам

знать:

- строение и свойства конструкционных и эксплуатационных материалов, применяемых при ремонте, эксплуатации и техническом обслуживании; технологические процессы обработки

**Задачи практического занятия:**

1. Изучить основные разновидности диаграмм состояния двойных сплавов.
2. Получить основные сведения о диаграммах состояния сплавов, о возможностях термической обработки сплавов, особенно с целью упрочнения.
3. Ответить на 3 контрольных вопроса по указанию преподавателя.

**Обеспеченность занятия:**

1. Учебно-методическая литература:

- Моряков О.С. *Материаловедение: учебник для студ. проф. образования/ О.С. Моряков.-5-е изд., стер.- М. : Издательский центр «Академия»,2013.-288с.*

- Адашкин А.М., Зуев В.М. *Материаловедение и технология материалов: учебное пособие/А.М. Адашкин, В.М. Зуев. – 2 е изд. – М.: ФОРУМ : ИНФРА – М, 2013. – 336с - (Профессиональное образование).*

2. Конспект лекций

3.Справочная литература:

- Зорин Ю.А. *Материаловедение и технология конструкционных материалов: основные термины и определения: Учебный терминологический словарь. – СПб. : Изд-во ГМА им. адм. С.О. Макарова, 2007. – 80с.*

4. Технические средства обучения:

- Мультимедийный проектор;

- Ноутбук.

5. Рабочая тетрадь (*обычная, в клетку*).

6. Раздаточные материалы (*карточки-задания, инструкционные карты*)

7. Ручка.

8. Карандаш простой

**Краткие теоретические и учебно-методические материалы по теме практического занятия**

Для практической работы с двойными сплавами необходимо знать их структуру, возможность ее изменения с изменением температуры и состава сплава и, таким образом, судить о свойствах сплавов и о возможностях изменения свойств в нужном направлении. Необходимость изменить структуру и свойства сплавов может возникнуть, если при получении детали методом литья произошла внутрикристаллическая ликвация, если нужно упрочнить сплав термической обработкой, и в некоторых других случаях. Для определения возможности проведения термической обработки и назначения ее температурного режима нужно знать закономерности изменения фазового состава в зависимости от температуры и химического состава сплава в данной системе. Графическая зависимость, содержащая эту информацию, и является *диаграммой состояния*. Диаграммы

состояния позволяют получать разностороннюю информацию о сплавах. С их помощью можно судить о литейных свойствах сплавов и, соответственно, о возможности получения из них отливок, о склонности сплавов к внутрикристаллической ликвации и ликвации по удельному весу при кристаллизации, о пластичности различных сплавов и возможности их пластического деформирования при изготовлении изделий.

Чаще всего для построения диаграмм состояния металлических систем используют термический анализ, основанный на том, что плавление, кристаллизация и все структурные изменения сплавов в твердом состоянии происходят с тепловыми эффектами (с поглощением или выделением тепла). Следовательно, снимая кривые нагрева или охлаждения сплавов разного состава какой-либо системы, можно зафиксировать температуры, при которых происходят те или иные изменения в структуре. Если затем эту информацию представить графически в координатах «температура - состав сплава», то получится диаграмма состояния системы.

В зависимости от характера взаимодействия компонентов в сплаве, соответствия или различия в их атомно-кристаллическом строении возможно образование различных фаз: твердых растворов, механической смеси кристаллов отдельных компонентов, химических соединений и др. Это взаимодействие описывается различными видами диаграмм состояния с разными возможностями изменения структуры и проведения термической обработки сплавов.

#### **Вопросы для закрепления теоретического материала к практическому занятию:**

1. Что такое термическая обработка?
2. Какое значение имеет термическая обработка в повышении прочности металлов.
3. Что такое закалка? Укажите цели закалки.
4. Что такое старение?

#### **Задания для практического занятия:**

1. Рассмотреть подробно диаграмму состояния сплава по указанию преподавателя (с анализом процессов, идущих при охлаждении или нагревании сплавов, разбором фаз, образующихся во всех областях диаграммы, объяснением значения линий на диаграмме).

#### **Инструкция по выполнению практического занятия**

1. Прочитайте внимательно основные сведения о диаграммах состояния сплавов, о возможностях термической обработки сплавов, особенно с целью упрочнения.
2. Выполните все пункты задания (по указанию преподавателя). Проанализируйте полученный материал и сделайте выводы о возможностях использования диаграмм состояния для практической работы со сплавами.
3. Поясните, какие сплавы металлических систем могут подвергаться упрочняющей термической обработке.

#### **Методика анализа и оценка результатов, полученных в ходе практического занятия**

1. Анализ должен быть чётким и лаконичным.
2. Изображенные рисунки должны быть четкими и понятными.
3. Полнота ответов на поставленные вопросы.
4. После изучения основных сведений о диаграммах состояния сплавов и о возможностях термической обработки сплавов, особенно с целью упрочнения, обосновать выбор сплавов металлических систем могут подвергаться упрочняющей термической обработке.
5. По результатам занятия сформулируйте вывод.
6. Оценка ставится общая, объективно по всем пунктам.

#### **Порядок выполнения отчета по практическому занятию**

1. Название и цель работы.
2. Краткая характеристика основных разновидностей диаграмм:
  - а) рисунок;
  - б) анализ процессов, идущих при охлаждении или нагревании сплавов;
  - в) разбор фаз, образующихся во всех областях диаграммы;
  - г) объяснение значения линий на диаграмме.
3. Выбор термической обработки для сплава по заданию, данным преподавателем, с подробными пояснениями, анализом.

**Раздел . Материалы, применяемые в машино- и приборостроении**  
**Тема: Конструкционные и эксплуатационные материалы**

**Название практического занятия: Изучение структуры и свойств чугунов.**

**Учебная цель: Научиться анализировать структуры чугуна, научиться выбирать марки чугунов для изготовления деталей машин, изделий. (2 часа)**

**Учебные задачи:**

1. Изучить основные разновидности чугунов, их строение, свойства и маркировку.
2. Познакомиться с основами выбора марки чугуна для изготовления деталей машин, изделий.

**Требования к результатам усвоения учебной дисциплины:**

Студент должен

уметь:

- анализировать структуру и свойства материалов

знать:

- строение и свойства конструкционных и эксплуатационных материалов, применяемых при ремонте, эксплуатации и техническом обслуживании;

**Задачи практического занятия:**

1. Разобраться с классификацией чугунов, их строением, свойствами, областью применения каждой группы материалов.
2. Изучить чугунную часть диаграммы железо-углерод.
3. Изучить металлографические шлифы чугунов и зарисовать их структуры
4. Выполните 1-2 задания, данные преподавателем, по выбору материала для изготовления.

**Обеспеченность занятия:**

1. Учебно-методическая литература:

- Моряков О.С. Материаловедение: учебник для студ. проф. образования/ О.С. Моряков.-5-е изд., стер.- М.: Издательский центр «Академия»,2013.-288с.

- Адашкин А.М., Зуев В.М. Материаловедение и технология материалов: учебное пособие/А.М. Адашкин, В.М. Зуев. – 2 е изд. – М.: ФОРУМ: ИНФРА – М, 2013. – 336с - (Профессиональное образование).

2. Конспект лекций

3. Справочная литература:

- Зорин Ю.А. Материаловедение и технология конструкционных материалов: основные термины и определения: Учебный терминологический словарь. – СПб. : Изд-во ГМА им. адм. С.О. Макарова,

4. Технические средства обучения:

- Мультимедийный проектор;

- Ноутбук.

5. Рабочая тетрадь (*обычная, в клетку*).

6. Раздаточные материалы (*карточки-задания, инструкционные карты*)

7. Ручка.

8. Карандаш простой

**Краткие теоретические и учебно-методические материалы по теме практического занятия**

**Чугун** – это железоуглеродистый сплав с содержанием углерода от 2,14 до 6 %. Кроме этих элементов, в чугуне содержится еще ряд примесей (кремний, марганец, сера, фосфор и др.). С целью улучшения свойств в чугуны могут вводиться легирующие элементы, такие как хром, никель, медь и др.

По структуре различают чугуны, в которых углерод находится в виде химического соединения с железом  $Fe_3C$  – цементита, и чугуны, в которых углерод, в основном, находится в свободном состоянии, в виде графита.

Первая разновидность называется *белым чугуном*. Структура белых чугунов описывается чугуновой частью диаграммы железо-углерод (рис. 1).

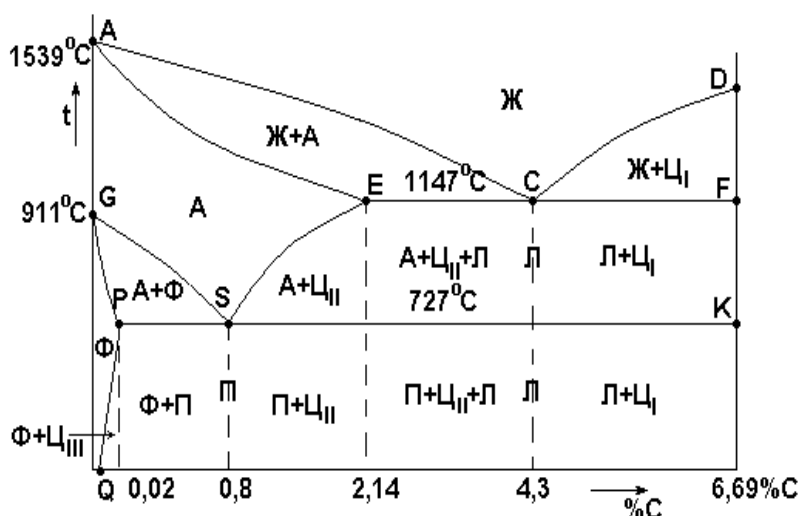


Рис. 1. Диаграмма железо-углерод:

Ж – жидкий раствор; А – аустенит (твёрдый раствор углерода в  $\gamma$ -Fe);

Ц – цементит ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ); Ф – феррит (твёрдый раствор углерода в  $\alpha$ -Fe);

П – перлит (эвтектоидная смесь феррита и цементита);

Л – ледебурит (эвтектическая смесь аустенита и цементита, ниже линии *PSK* – смесь перлита и цементита)

Чугуны, в которых углерод находится в свободном виде, классифицируют по форме графитовых включений:

1. **Серый чугун**. В нем содержится графит в виде пластинчатых включений.
2. **Ковкий чугун** с хлопьевидными включениями графита.
3. **Высокопрочный чугун**, в котором графит имеет шаровидную форму.

**Марки и механические свойства чугунов**

Марка чугуна	$\sigma_b$ , МПа (кг/мм <sup>2</sup> )	$\delta$ , %	НВ
СЧ10	100 (10)	–	190
СЧ15	150 (15)	–	210
СЧ20	200 (20)	–	230
СЧ35	350 (35)	–	275
КЧ 30-6	300 (30)	6	100-163
КЧ 35-10	350 (35)	10	100-163
КЧ 45-7	450 (45)	7	150-207
КЧ 60-3	600 (60)	3	200-269
ВЧ 35	350 (35)	22	140-170
ВЧ 40	400 (40)	15	140-202
ВЧ 50	500 (50)	7	153-245
ВЧ 70	700 (70)	2	228-302

Примечание: Для серых чугунов толщина стенки отливки 15 мм, для ковких чугунов размер отливки 16 мм.

**Вопросы для закрепления теоретического материала к практическому занятию:**

1. Назовите типы чугунов
2. Какие чугуны называются белыми? Что такое отбел и отбелённые чугуны?
3. Назовите чугуны с графитом. Какую форму имеет графит в чугунах?
4. Какую структуру металлической основы могут иметь чугуны?
5. Назовите наиболее и наименее прочный чугун.



6. Как получают отливки из серого, высокопрочного и ковкого чугунов?
7. Как обозначают разные чугуны?

**Задания для практического занятия:**

1. Выберите материал для изготовления дробы для дробеструйных аппаратов очистки деталей. Дробь при работе аппарата не должна деформироваться и должна иметь высокую твердость и износостойкость. Опишите структуру выбранного материала.
2. Станину станка изготавливают методом литья с последующей обработкой резанием. В процессе работы станина не испытывает ударных нагрузок. Условия работы довольно легкие. Выберите материал для ее изготовления, расшифруйте марку и поясните структуру данного чугуна.
3. Корпуса редукторов изготавливают из чугуна методом литья с последующей обработкой резанием. Материал должен обладать прочностью  $\sigma_b = 500$  МПа, относительным удлинением 1,5 % и иметь твердость *HB230*. Выберите и обоснуйте марку чугуна, расшифруйте ее и поясните структуру.
4. Почему белые чугуны ограниченно применяются в машиностроении? Дайте подробное пояснение. Какие разновидности белых чугунов существуют, и какова их структура?
6. Выберите материал для корпуса небольшого электродвигателя. Условия работы легкие, нагрузки небольшие. Корпус отливается с последующей обработкой резанием. Расшифруйте марку чугуна и поясните его структуру.
7. Для добычи гравия из реки Лена используют земснаряды. Шарнирные соединения труб для транспортировки гравия делают из чугуна. Условия работы: большой гидроабразивный износ, ударные нагрузки, постоянная вибрация. Выберите и обоснуйте марку чугуна.

**Инструкция по выполнению практического занятия**

1. Прочитайте внимательно основные сведения по теме работы и разберитесь с классификацией чугунов, их строением, свойствами, областью применения каждой группы материалов.
2. Изучите чугунную часть диаграммы железо-углерод.
3. Изучите металлографические шлифы чугунов и зарисуйте их структуры
4. Выполните 1-2 задания, данные преподавателем, по выбору материала для изготовления изделий.

**Методика анализа и оценка результатов, полученных в ходе практического занятия**

1. Таблица должна быть правильно заполнена
2. Изображенные рисунки должны быть четкими и понятными.
3. Полнота ответов на поставленные вопросы.
4. После изучения основных разновидностей чугунов, их строения, свойств и маркировки обосновать выбор марки чугуна для конкретной детали.
5. По результатам занятия сформулируйте вывод.
6. Оценка ставится общая, объективно по всем пунктам.

**Порядок выполнения отчета по практическому занятию**

1. Название и цель работы.
  3. Краткая характеристика основных видов чугунов, особенности их строения и свойств.
- Заполните таблицу:

Вид чугуна	Маркировка	Состояние углерода в чугуне	Свойства чугуна	Применение

4. Диаграмма железо-углерод с подробным рассмотрением ее чугунной части.

5. Рисунки структур чугунов, с подробными пояснениями структурных составляющих и типа чугуна.
6. Выбор материала для изделий по заданиям, данным преподавателем, с подробными пояснениями, анализом.

## **Раздел . Материалы, применяемые в машино- и приборостроении**

### **Тема: Конструкционные и эксплуатационные материалы**

#### **Название практического занятия: Изучение структуры и свойств углеродистых сталей (2 часа)**

**Учебная цель:** Научиться анализировать структуры углеродистых сталей, научиться выбирать марки углеродистых сталей для изготовления деталей машин, изделий.

#### **Учебные задачи:**

1. Изучить микроструктуры отожженных углеродистых сталей.
2. Познакомиться с основами выбора марок сталей для изготовления деталей машин, изделий.

#### **Требования к результатам усвоения учебной дисциплины:**

Студент должен

#### уметь:

- анализировать структуру и свойства материалов

#### знать:

- строение и свойства конструкционных и эксплуатационных материалов, применяемых при ремонте, эксплуатации и техническом обслуживании;

#### **Задачи практического занятия:**

1. Изучить микроструктуры отожженных углеродистых сталей.
2. Разобраться со стальной частью диаграммы Fe – Fe<sub>3</sub>C.
3. Получить навыки определения под микроскопом элементов структуры стали: феррита, цементита, перлита, для чего рассмотреть фотографии микроструктур и зарисовать схемы рассмотренных структур.

#### **Обеспеченность занятия:**

1. Учебно-методическая литература:

- Моряков О.С. Материаловедение: учебник для студ. проф. образования/ О.С. Моряков.-5-е изд., стер.- М.: Издательский центр «Академия»,2013.-288с.

- Адашкин А.М., Зуев В.М. Материаловедение и технология материалов: учебное пособие/А.М. Адашкин, В.М. Зуев. – 2 е изд. – М. : ФОРУМ : ИНФРА – М, 2013. – 336с - (Профессиональное образование).

2. Конспект лекций

3. Справочная литература:

- Зорин Ю.А. Материаловедение и технология конструкционных материалов: основные термины и определения: Учебный терминологический словарь. – СПб. : Изд-во ГМА им. адм. С.О. Макарова, 2007. – 80с.

- Абрамович В.Р. и др. Справочник по современным судостроительным материалам под ред. Полипова Л.Я. - Л.: Судостроение. 1979 г.

4. Технические средства обучения:

Мультимедийный проектор;

Ноутбук.

5. Рабочая тетрадь (обычная, в клетку).

6. Раздаточные материалы (карточки-задания, инструкционные карты, фотографии микроструктур)

7. Ручка.

8. Карандаш простой

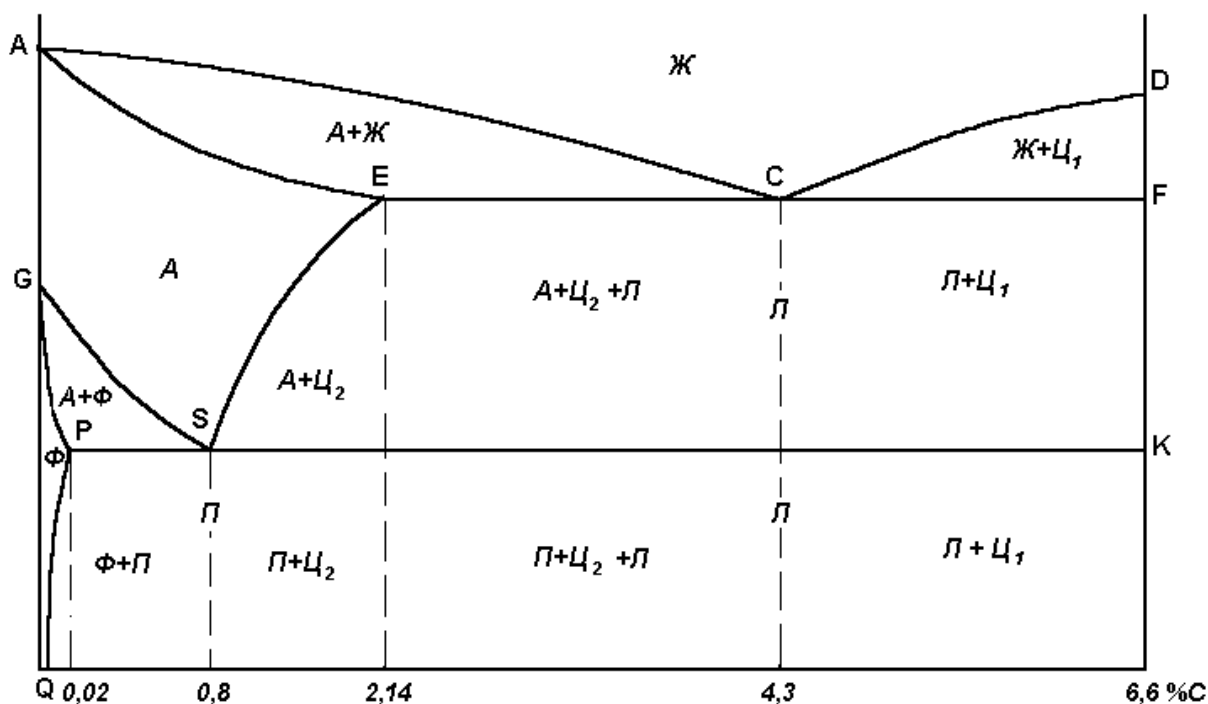
#### **Краткие теоретические и учебно-методические материалы по теме практического занятия**

На диаграмме состояния железо–углерод (рис. 1) сплавы, относящиеся к сталям, расположены в интервале концентраций углерода до 2,14 %, т.е. левее точки E. При температурах ниже 727 °С все отожженные углеродистые стали состоят из двух фаз  $\square$  феррита и цементита. Феррит  $\square$  это твердый раствор углерода в железе с объемно-центрированной кубической решеткой ( $Fe_{\alpha}$ ). Максимальная растворимость углерода в  $Fe_{\alpha}$  составляет около 0,02 % (точка P). Цементит  $\square$  это карбид железа  $Fe_3C$ , содержащий 6,67 % С.

При температурах выше линии GSE равновесной фазой является аустенит  $\square$  твердый раствор углерода в железе с гранецентрированной кубической решеткой ( $Fe_{\gamma}$ ). Предельная растворимость углерода в  $Fe_{\gamma}$  2,14 % (точка E).

В результате фазовых превращений в твердом состоянии при малых скоростях охлаждения в стали образуются следующие структуры: перлит, избыточный феррит, вторичный цементит и третичный цементит.

Рис. 1. Диаграмма Fe –  $Fe_3C$



На линии GS из аустенита начинает выделяться избыточный феррит, а на линии SE  $\square$  вторичный цементит. На линии PQ из феррита выделяется третичный цементит. Во всех сплавах правее точки P при небольшом переохлаждении до температур ниже 727 °С аустенит эвтектоидного состава (0,8 % С) распадается на эвтектоидную смесь феррита и цементита, называемую перлитом, причем цементит может быть в виде пластинок или зерен (Приложение, рис. 4).

Сталь, содержащую 0,8 % С, называют эвтектоидной. Стали, содержащие менее 0,8 % С называют доэвтектоидными, а более 0,8 % С  $\square$  заэвтектоидными.

Металлографический анализ металлов и сплавов заключается в исследовании структуры материалов при больших увеличениях с помощью микроскопа, а наблюдаемая структура называется микроструктурой. Изучение под микроскопом структуры металлов возможно лишь при достаточно интенсивном отражении световых лучей от исследуемой поверхности. Поэтому поверхность образца должна быть специально подготовлена. Образец, поверхность которого подготовлена для металлографического анализа, называется микрошлифом. Для изготовления микрошлифа необходимо вырезать образец из исследуемого металла, получить на нем плоскую, блестящую поверхность, а затем шлиф травят. Существует несколько методов травления, из которых наиболее распространен метод избирательного растворения фаз. Метод основан на различии физико-химических свойств отдельных фаз и пограничных участков зерен. В результате различной

интенсивности растворения создается рельеф поверхности шлифа. Для травления микрошлиф погружают полированной поверхностью в раствор избранного состава и через некоторое время вынимают. Если полированная поверхность станет слегка матовой, травление считается законченным, шлиф сразу же промывают водой, затем спиртом и высушивают фильтровальной бумагой.

Микрошлифы сталей травят 3-4% раствором  $\text{HNO}_3$  в спирте, после чего структурно свободные феррит и цементит по сравнению с темным (коричневатым) перлитом выглядят белыми.

#### **Вопросы для закрепления теоретического материала к практическому занятию:**

1. Какое содержание углерода в эвтектоидной стали?
2. Какую кристаллическую решетку имеют  $\alpha$ - и  $\gamma$ -железо?
3. Что такое аустенит, феррит, перлит, цементит?
4. Укажите название областей на стальной части диаграммы.
5. Какие процессы протекают в стали при ее охлаждении в области  $727^\circ\text{C}$ ?
6. Какое максимальное содержание углерода в аустените?
7. Какое максимальное содержание углерода в феррите?
8. Как влияет содержание углерода на свойства стали?

#### **Задания для практического занятия:**

1. Рассмотреть подробно фотографии микроструктур углеродистых сталей (с описанием увиденных элементов структуры стали: феррита, цементита, перлита)
2. Расшифруйте марки сталей: БСт, сталь 45, сталь У10А. Укажите их состав, свойства и область применения.

#### **Инструкция по выполнению практического занятия**

1. Прочитайте внимательно основные сведения по теме работы.
7. Изучите стальную часть диаграммы железо-углерод.
8. Рассмотреть фотографии микроструктур и зарисуйте схемы рассмотренных структур.
9. Выполните 1-2 задания, данные преподавателем.

#### **Методика анализа и оценка результатов, полученных в ходе практического занятия**

1. Изображенные рисунки должны быть четкими и понятными.
3. Полнота ответов на поставленные вопросы.
4. После изучения основных разновидностей сталей, их строения, свойств и маркировки обосновать выбор марки чугуна для конкретной детали.
5. По результатам занятия сформулируйте вывод.
6. Оценка ставится общая, объективно по всем пунктам.

#### **Порядок выполнения отчета по практическому занятию**

1. Название и цель работы.
2. Краткая характеристика основных видов сталей, особенности их строения и свойств.
3. Микроструктуры углеродистых сталей. Зарисуйте схемы рассмотренных структур, опишите увиденные элементы структуры стали: феррит, цементит, перлит.
4. Марки сталей и их состав, свойства, применение.
5. Вывод по работе.

### **Раздел . Материалы, применяемые в машино- и приборостроении**

#### **Тема: Конструкционные и эксплуатационные материалы**

#### **Название практического занятия: Изучение структуры и свойств легированных сталей (4 часа)**

**Учебная цель:** научиться самостоятельно анализировать структуры и по виду определить структурные составляющие легированных сталей с помощью фотографий.

**Учебные задачи:**

1. Изучить микроструктуры легированных сталей.
2. Познакомиться с основами выбора марок сталей для изготовления деталей машин, изделий.

**Требования к результатам усвоения учебной дисциплины:**

Студент должен

уметь:

- анализировать структуру и свойства материалов

знать:

- строение и свойства конструкционных и эксплуатационных материалов, применяемых при ремонте, эксплуатации и техническом обслуживании;

**Задачи практического занятия:**

1. Изучить микроструктуры легированных сталей.
2. Получить навыки определения под микроскопом элементов структуры стали: феррита, цементита, перлита, для чего рассмотреть фотографии микроструктур и зарисовать схемы рассмотренных структур.

**Обеспеченность занятия:**

1. Учебно-методическая литература:

- Моряков О.С. Материаловедение: учебник для студ. проф. образования/ О.С. Моряков.-5-е изд., стер.- М.: Издательский центр «Академия», 2013.-288с.

- Адашкин А.М., Зуев В.М. Материаловедение и технология материалов: учебное пособие/А.М. Адашкин, В.М. Зуев. – 2 е изд. – М. : ФОРУМ : ИНФРА – М, 2013. – 336с - (Профессиональное образование).

2. Конспект лекций

3. Фотография микроструктур изучаемых сталей.

4. Справочная литература:

- Зорин Ю.А. Материаловедение и технология конструкционных материалов: основные термины и определения: Учебный терминологический словарь. – СПб.: Изд-во ГМА им. адм. С.О. Макарова,

5. Технические средства обучения:

- Мультимедийный проектор;

- Ноутбук.

6. Рабочая тетрадь (*обычная, в клетку*).

7. Раздаточные материалы (*карточки-задания, инструкционные карты*)

8. Ручка.

9. Карандаш простой

10. Циркуль

11. Линейка.

**Краткие теоретические и учебно-методические материалы по теме практического занятия**

Легированные стали классифицируются по назначению, составу, количеству легирующих элементов и структуре.

В зависимости от назначения легированные стали делятся на:

• Конструкционные стали (цементируемые, улучшаемые, пружинно- рессорные и др.), применяемые для изготовления деталей машин:

• Инструментальные стали, применяемые для изготовления режущего, измерительного и штампового инструмента;

• Стали с особыми свойствами, например, нержавеющие, жаропрочные жаростойкие и т.д.

Низкоуглеродистые стали (цементитные)

К низкоуглеродистым сталям относятся стали с содержанием углерода до 0,25%, например, марок 15Г; 20Х; 18хГТ; 20х2Н4А и др.

Легированные низкоуглеродистые стали после отжига имеют структуру феррит + перлит, а так же после закалки малоуглеродистый мартенсит.

Установлено, что добавки азота вместе с нитридообразующими элементами способствует значительному измельчению зерна и повышению температуры начала роста зерна аустенита.

Нитриды влияют на свойства стали также путём воздействия на кинетику превращения аустенита и на дисперсное твердение.

Высокая пластичность, мелкое зерно и особенно высокая температура его роста способствуют получению качественных сварных соединений листов толщиной от 20 мм - сталь с нитридами алюминия и до 100 мм (сталь с нитридами ванадия). Низколегированная сталь с нитридным упрочнением удовлетворительно деформируется в холодном и горячем состояниях. Сталь такого типа характеризуется высоким сопротивлением хрупкому разрушению и достаточно низким порогом хладно ломкости.

В настоящее время для изготовления различного рода сварных конструкций деталей и узлов используется большое число марок малоуглеродистых и среднелегированных сталей, соответствующих ГОСТ 380-7.1; 5521-67; 6713-75; 1050-75; 19282-73, а также техническим условиям и отраслевым стандартам.

Согласно ГОСТ 19282-73, предусматривается выпуск 28 марок низколегированной стали, применяемой для сварных конструкций в промышленном и гражданском строительстве и машиностроении.

### **Вопросы для закрепления теоретического материала к практическому занятию:**

1. Что называется легированной сталью?
2. Какие требования предъявляются к конструкционным сталям?
3. Перечислите стали которые входят в разряд конструкционных?
4. Где применяются хромистые стали?
5. Какие стали называют быстрорежущими? Определите область их применения.

### **Задания для практического занятия:**

1. Пользуясь фотографиями микроструктур проанализировать структурные составляющие легированных конструкционных сталей. Сделать их зарисовки.
2. Расшифруйте марки сталей: 40ХН, ШХ15, 12Х18Н9, 30ХГСА.. Укажите их состав, свойства и область применения.

### **Инструкция по выполнению практического занятия**

1. Прочитайте внимательно основные сведения по теме работы.
2. Рассмотреть фотографии микроструктур и зарисуйте схемы рассмотренных структур.
3. Выполните 1-2 задания, данные преподавателем.

### **Методика анализа и оценка результатов, полученных в ходе практического занятия**

1. Изображенные рисунки должны быть четкими и понятными.
3. Полнота ответов на поставленные вопросы.
4. После изучения основных разновидностей сталей, их строения, свойств и маркировки обосновать выбор марки чугуна для конкретной детали.
5. По результатам занятия сформулируйте вывод.
6. Оценка ставится общая, объективно по всем пунктам.

### **Порядок выполнения отчета по практическому занятию**

1. Название и цель работы.
2. Краткая характеристика основных видов сталей, особенности их строения и свойств.
3. Микроструктуры легированных сталей. Зарисуйте схемы рассмотренных структур, опишите увиденные элементы структуры стали. Марки сталей и их состав, свойства, применение.
4. Вывод по работе.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ**

**Практическое занятие** (Термическая обработка углеродистой стали. Работа со справочной литературой).

Для практической работы с двойными сплавами необходимо знать их структуру, возможность ее изменения с изменением температуры и состава сплава и, таким образом, судить о свойствах сплавов и о возможностях изменения свойств в нужном направлении. Необходимость изменить структуру и свойства сплавов может возникнуть, если при получении детали методом литья произошла внутрикристаллическая ликвация, если нужно упрочнить сплав термической обработкой, и в некоторых других случаях. Для определения возможности проведения термической обработки и назначения ее температурного режима нужно знать закономерности изменения фазового состава в зависимости от температуры и химического состава сплава в данной системе. Графическая зависимость, содержащая эту информацию, и является **диаграммой состояния**. Диаграммы состояния позволяют получать разностороннюю информацию о сплавах. С их помощью можно судить о литейных свойствах сплавов и, соответственно, о возможности получения из них отливок, о склонности сплавов к внутрикристаллической ликвации и ликвации по удельному весу при кристаллизации, о пластичности различных сплавов и возможности их пластического деформирования при изготовлении изделий.

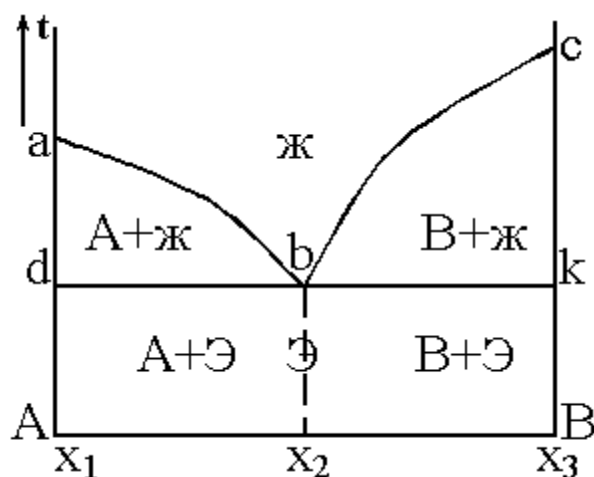
Чаще всего для построения диаграмм состояния металлических систем используют термический анализ, основанный на том, что плавление, кристаллизация и все структурные изменения сплавов в твердом состоянии происходят с тепловыми эффектами (с поглощением или выделением тепла). Следовательно, снимая кривые нагрева или охлаждения сплавов разного состава какой-либо системы, можно зафиксировать температуры, при которых происходят те или иные изменения в структуре. Если затем эту информацию представить графически в координатах «температура - состав сплава», то получится диаграмма состояния системы.

В зависимости от характера взаимодействия компонентов в сплаве, соответствия или различия в их атомно-кристаллическом строении возможно образование различных фаз: твердых растворов, механической смеси кристаллов отдельных компонентов, химических соединений и др. Это взаимодействие описывается различными видами диаграмм состояния с разными возможностями изменения структуры и проведения термической обработки сплавов.

Основные разновидности таких диаграмм рассматриваются в общем виде ниже.

#### 4. Диаграмма с полной нерастворимостью компонентов в твердом состоянии

Рис. 1



В этой системе в жидком состоянии компоненты А и В растворяются друг в друге, а в твердом не растворяются. По вертикальной оси на диаграммах всегда откладывается температура, а по горизонтальной - состав сплава в процентах. На приведенной диаграмме (рис. 1) в точке « $x_1$ » содержится 100 % компонента А, вправо от этой точки увеличивается количество компонента В в сплавах, и в точке « $x_3$ » содержится 100% В. Точка «а» соответствует температуре плавления компонента А, а точка «с» - компонента В.

Если рассматривать диаграмму при понижении температуры (сверху вниз), то пересечение каждой линии соответствует изменению фазового состояния, строения сплавов данной системы. На рис. 1 линия abc является геометрическим местом температур начала кристаллизации сплавов и называется линией *ликвидус*. Выше этой линии все сплавы системы А-В находятся в жидком состоянии.

Линия dbk является геометрическим местом температур конца кристаллизации и называется линией *солидус*. Ниже нее все сплавы находятся в твердом состоянии. Следовательно, между линиями ликвидус и солидус сплав находится в двухфазном состоянии (и жидком, и твердом), т.е. в областях abda и bckb идут процессы кристаллизации (при охлаждении) и плавления (при нагревании).

При охлаждении из жидкого состояния на линиях ab и bc начинается процесс кристаллизации. Поскольку компоненты этой системы не растворяются друг в друге и химически не взаимодействуют, то при кристаллизации образуются кристаллы чистых компонентов. Причем, в области abda более благоприятные условия для образования в жидкости зародышей компонента А и роста из них кристаллов, а в области bckb - компонента В. Поэтому на линии ab начинается кристаллизация компонента А, а на линии bc – компонента В. При последующем понижении температуры эти процессы продолжают до линии солидус dbk.

Точка «b» на диаграмме называется *эвтектической*, она принадлежит одновременно линии ab и линии bc. При кристаллизации сплава эвтектического состава ( $x_2$ ) в точке «b» одновременно формируются кристаллы компонентов А и В, в результате чего образуется мелкая механическая смесь кристаллов А и В, которая называется *эвтектикой*. Эвтектика сохраняется в этом сплаве и при последующем охлаждении в твердом состоянии.

При кристаллизации компонентов А и В в областях abda и bckb состав оставшейся жидкости непрерывно меняется. В первом случае она обедняется компонентом А, во втором - В. Когда охлаждение доходит до линии dbk, состав оставшейся жидкости становится равным эвтектическому ( $x_2$ ). Поэтому на линии dbk, так же как и в точке «b», кристаллизуется эвтектика.

В твердом состоянии (ниже линии dbk) структура *доэвтектических сплавов* (в интервале концентраций  $x_1-x_2$ ) будет состоять из кристаллов компонента А и эвтектики, структура *эвтектического сплава* (состава  $x_2$ ) - из одной эвтектики, структура *заэвтектических сплавов* (в интервале концентраций  $x_2-x_3$ ) - из кристаллов компонента В и эвтектики. Дальнейшее охлаждение в твердом состоянии не приводит к каким-либо изменениям в структуре, т.к. никаких линий в нижней части диаграммы нет.

Оценим возможность термической обработки сплавов системы с полной нерастворимостью компонентов в твердом состоянии.

**Термической обработкой** называют изменение структуры и свойств сплавов путем нагрева их до определенной температуры, выдержки и охлаждения с необходимой скоростью. Если посмотреть на диаграмму на рис. 1, то видно, что нагрев и охлаждение сплавов данной системы в твердом состоянии не приводят к изменению структуры, а следовательно - и свойств. Это значит, что упрочняющая термическая обработка сплавов подобных систем невозможна.

## 2. Диаграмма с полной растворимостью компонентов в твердом состоянии

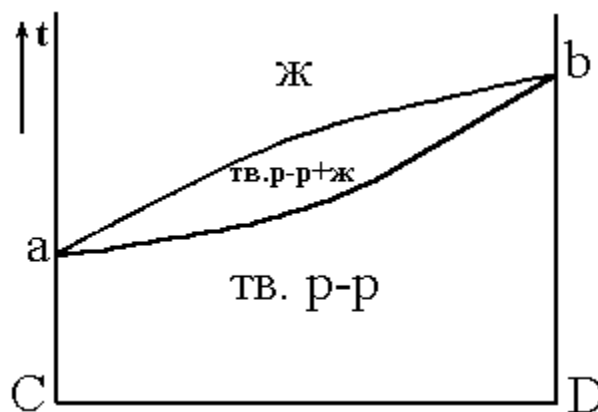


Рис. 2



В данном случае компоненты С и D растворяются друг в друге в твердом состоянии во всем интервале концентраций (от 0 до 100 %) (рис. 2). С учетом этого следует рассматривать диаграмму системы сплавов С–D. На рис. 2 точки «а» и «b» - температуры плавления (кристаллизации) компонентов С и D соответственно. Верхняя линия является линией ликвидус, следовательно выше нее все сплавы данной системы находятся в жидком состоянии. Нижняя линия – линия солидус, ниже которой все сплавы находятся в твердом состоянии. Кристаллизация при охлаждении жидкости начинается на линии ликвидус, при этом образуются кристаллы твердого раствора С в D (или D в С), заканчивается этот процесс на линии солидус. Ниже солидуса, т.е. в твердом состоянии, структура сплавов – это кристаллы твердого раствора замещения. При дальнейшем охлаждении до комнатной температуры изменений в структуре не происходит. Поскольку нагрев и охлаждение сплавов данной системы в твердом состоянии не приводят к изменению структуры, упрочняющая термическая обработка сплавов подобных систем невозможна.

Если в процессе кристаллизации произошла *внутрикристаллическая ликвация*, то устранить или уменьшить неоднородность по составу в сплаве можно термической обработкой – *диффузионным отжигом* (или *гомогенизацией*). Для этого необходимо нагреть сплав до высоких температур с целью ускорения диффузионных процессов, выдержать при этих температурах достаточно длительное время (часы или десятки часов) и медленно охладить. Режим диффузионного отжига показан на рис. 3 (заштрихованный интервал температур).

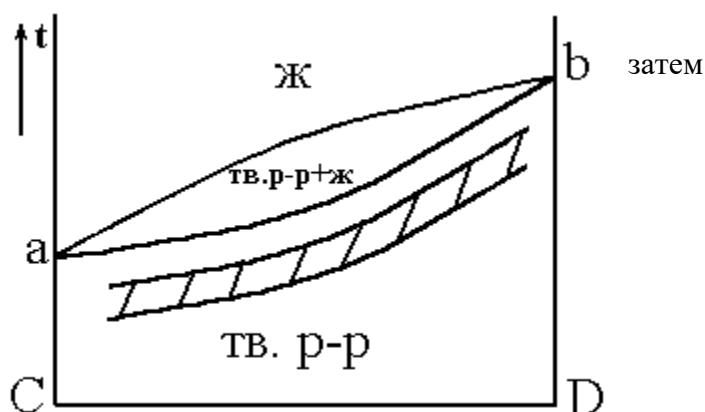


Рис. 3

### 3. Диаграмма состояния с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии

В этой системе (рис. 4) компонент К в компоненте М в твердом состоянии не растворяется, а М в К растворяется в ограниченных количествах. Обозначим твердый раствор компонента М в К буквой  $\alpha$ . Такой твердый раствор с ограниченной растворимостью может образоваться как по типу замещения, так и по типу внедрения. При температуре  $t_1$  в твердом растворе  $\alpha$  может раствориться  $x_2$  компонента М, а при комнатной температуре -  $x_1$ , т.е. с понижением температуры растворимость М в твердом растворе  $\alpha$  уменьшается.

Линия abc - ликвидус диаграммы, следовательно, при более высоких температурах все сплавы данной системы будут в жидком состоянии.

Линия adbf – солидус, ниже нее сплавы находятся в твердом состоянии.

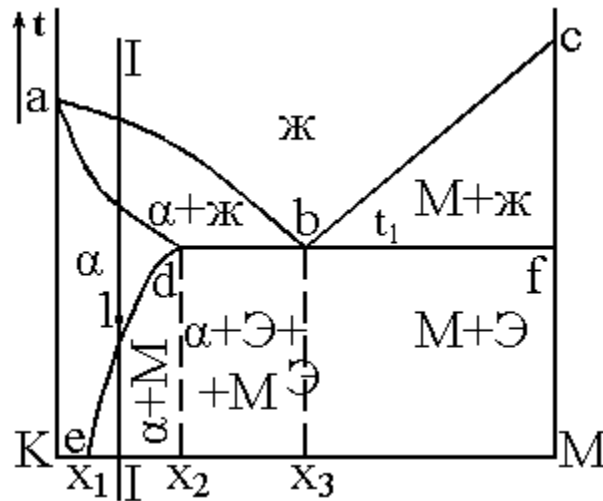


Рис. 4

При охлаждении доэвтектических сплавов (с концентрацией компонента М до  $x_3$ ) в области  $abda$  будет происходить кристаллизация твердого раствора  $\alpha$ , а в заэвтектических сплавах (с концентрацией М больше  $x_3$ ) в области  $bcbf$  - кристаллизация компонента М. При этом в сплавах с концентрацией М до  $x_2$  кристаллизация заканчивается на линии  $ad$  формированием структуры, полностью состоящей из кристаллов твердого раствора  $\alpha$ , которая сохраняется и при дальнейшем охлаждении. Точка «b» на диаграмме – эвтектическая. В сплаве эвтектического состава ( $x_3$ ) в точке «b» при постоянной температуре  $t_1$  происходит кристаллизация эвтектики, которая представляет собой смесь мелких кристаллов твердого раствора  $\alpha$  и компонента М. Если проанализировать процессы, идущие при кристаллизации в областях  $abda$  и  $bcbf$ , то можно увидеть, что состав жидкости здесь непрерывно меняется, и при температуре  $t_1$  (на линии  $dbf$ ) становится эвтектическим. Таким образом, на линии  $dbf$  из жидкости эвтектического состава кристаллизуется эвтектика, сохраняющаяся в сплавах при дальнейшем охлаждении.

Линия  $de$  на диаграмме (рис. 4) показывает предельную растворимость компонента М в твердом растворе  $\alpha$ , понижающуюся с уменьшением температуры от  $x_2$  до  $x_1$ . Поэтому при охлаждении доэвтектических сплавов ниже линии  $de$  из твердого раствора  $\alpha$  будут выделяться избыточные атомы компонента М с образованием мелких кристаллов (частиц) этого компонента. Эти частицы при медленном охлаждении будут расти, укрупняться. Точно такой же процесс будет происходить и в сплавах состава  $x_2$ – $x_3$ . Это значит, что в них при температурах ниже линии  $db$  тоже будут выделяться частицы компонента М.

Для систем с твердыми растворами с ограниченной растворимостью компонентов, зависимой от температуры (подобных системе на рис. 4), возможна упрочняющая термическая обработка.

Сущность ее заключается в следующем. Если взять сплав состава I-I со структурой, состоящей из кристаллов  $\alpha$  и частиц М, нагреть его до температуры точки  $l$  (выше линии  $de$ ), выдержать при этой температуре, чтобы все частицы М растворились в твердом растворе  $\alpha$ , и быстро охладить, то компонент М не успеет выделиться из твердого раствора. После охлаждения структура сплава будет представлять собой пересыщенный твердый раствор  $\alpha'$ . Этот процесс называется **закалкой**. При выдержке закаленного сплава при комнатной или несколько повышенной температуре из пересыщенного твердого раствора будет выделяться избыточный компонент М с образованием *дисперсных* (очень мелких) частиц:  $\alpha' \rightarrow \alpha + M_{\text{дисп}}$ . Такой процесс называется **старением** (при комнатной температуре – *естественное старение*, а при повышенных температурах – *искусственное старение*).

Образующиеся при старении мелкодисперсные частицы являются эффективными препятствиями для движения дислокаций и тем самым упрочняют сплав, повышают его прочностные характеристики. Таким образом, *упрочняющая термическая обработка сплавов подобных систем заключается в закалке и старении*.

В реальных сплавах могут встречаться варианты, когда оба компонента ограниченно растворяются друг в друге в твердом состоянии. В этом случае в системе будет 2 твердых раствора. Пример такой диаграммы показан на рис. 5.

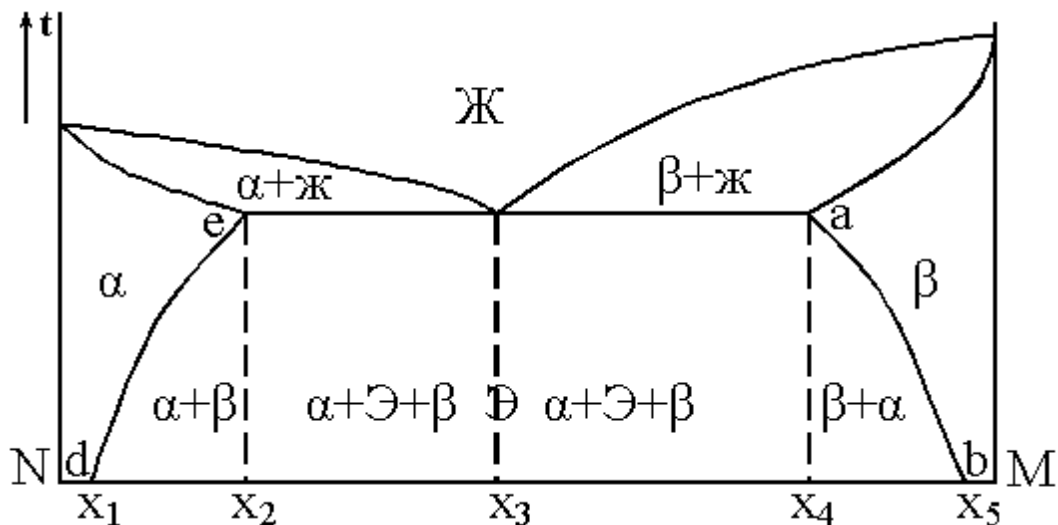


Рис. 5

Здесь есть твердый раствор М в N ( $\alpha$ ) и твердый раствор N в M ( $\beta$ ). Линии de и ab показывают, соответственно, предельную растворимость компонентов M и N в твердых растворах  $\alpha$  и  $\beta$  в зависимости от температуры. Сплавы такой системы также могут подвергаться упрочняющей термической обработке (закалке и старению).

Если растворимость компонента в твердом растворе не зависит от температуры, то термическая обработка (закалка) становится невозможной, т.к. нельзя получить пересыщенный твердый раствор, необходимый для образования при последующем старении дисперсной упрочняющей фазы. Пример такой диаграммы показан на рис. 6.

Здесь концентрация компонента P в твердом растворе  $\alpha$  постоянна и равна  $x_1$ .

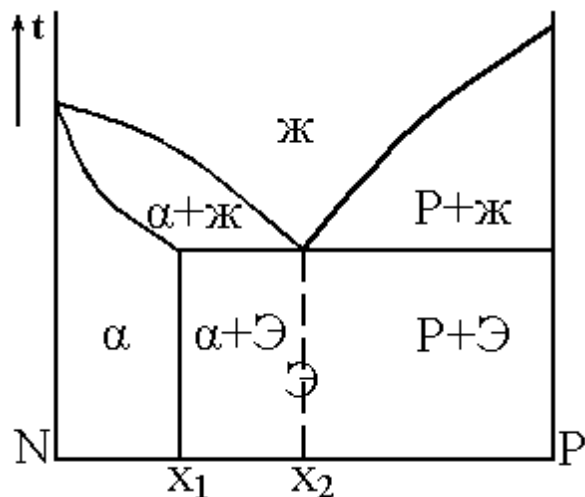


Рис. 6

#### 4. Диаграмма состояния с образованием химического соединения между компонентами

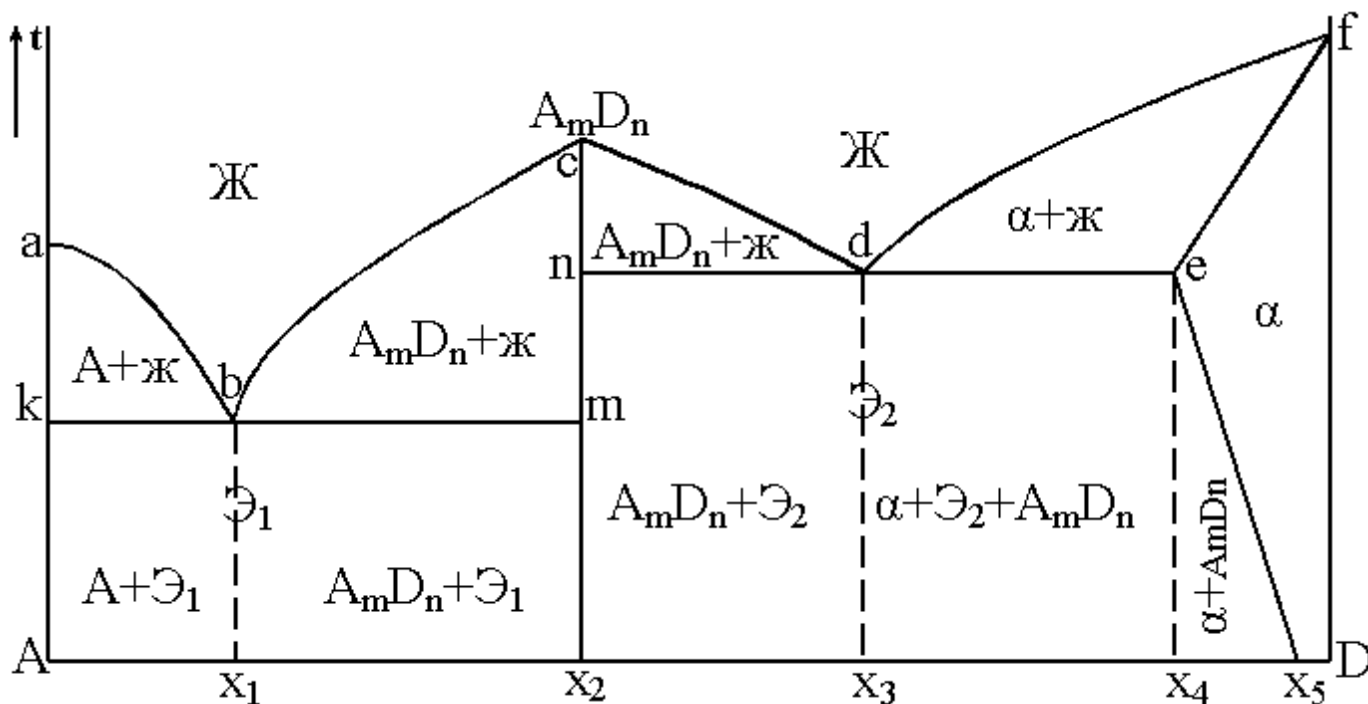
Если в процессе кристаллизации компоненты образуют устойчивое химическое соединение, то оно играет роль самостоятельного компонента в системе. С учетом этого, любую диаграмму с

химическим соединением можно анализировать, разложив ее условно на более простые диаграммы, аналогичные рассмотренным выше.

На рис. 7 показана диаграмма с образованием химического соединения  $AmD_n$  между компонентами A и D.

Эту диаграмму условно можно разделить на 2 простых диаграммы: A– $AmD_n$  и  $AmD_n$ –D (линии ликвидус abc и cdf, линии солидус kbm и ndef). Первая из них - типичная диаграмма с полной нерастворимостью компонентов в твердом состоянии, а вторая – диаграмма с ограниченной растворимостью компонентов. С учетом этого и указаны фазы в областях диаграммы на рис. 7.

В этой системе 2 эвтектики (точки «b» и «d»); одна из них -  $\Xi_1$  - состоит из кристаллов A +  $AmD_n$ , а другая -  $\Xi_2$  - из кристаллов  $AmD_n$  +  $\alpha$ . Компонент A ограниченно растворяется в D с образованием



твердого раствора  $\alpha$ . Как видно из рис. 7, для сплавов в правой части системы возможна упрочняющая термическая обработка (закалка и старение).

Рис. 7

## 5. Диаграмма состояния с фазовым превращением в твердом состоянии

Если один или оба компонента при нагревании и охлаждении в твердом состоянии меняют свое кристаллическое строение, то это сказывается на виде диаграммы. На ней появляются дополнительные линии, характеризующие изменение кристаллической решетки компонентов и их взаимодействие после такого изменения с образованием новых фаз в твердом состоянии.

Такая диаграмма показана на рис.8.

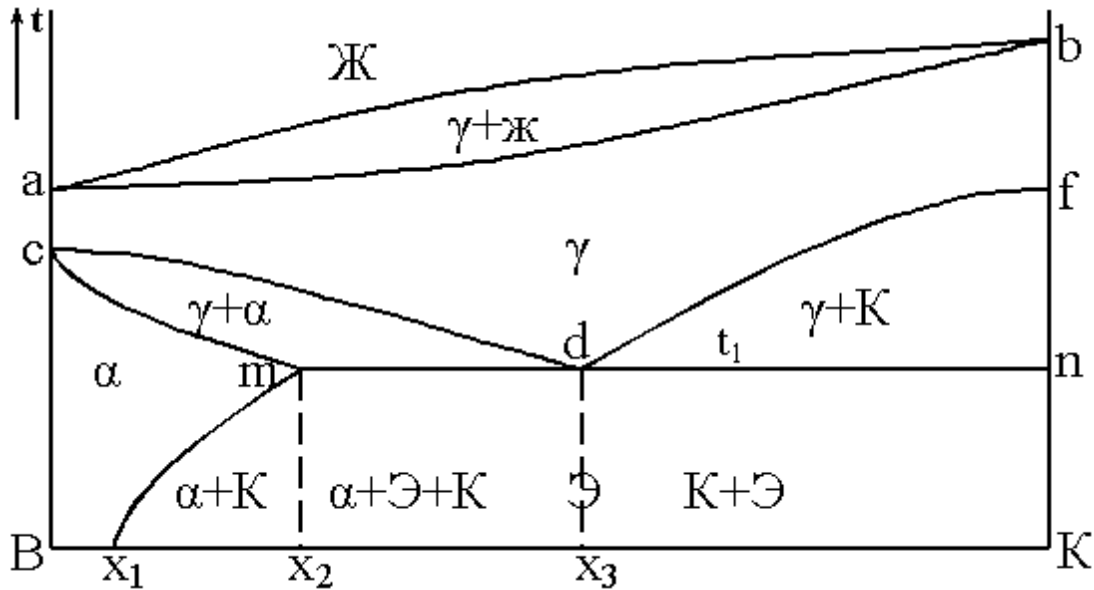


Рис. 8

Для удобства рассмотрения эту диаграмму условно можно разделить на две, первая из которых – верхняя часть диаграммы, показывающая процессы, идущие при кристаллизации жидкости (сверху и до линии cdf). Это диаграмма с полной растворимостью компонентов в твердом состоянии. Вторая условная диаграмма – это нижняя часть системы В-К, показывающая процессы, идущие в сплавах в твердом состоянии (ниже линии солидус ab). Это диаграмма с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии.

При рассмотрении этих условных простых диаграмм следует использовать знания по вышеизложенному материалу. В системе В-К имеются 2 типа твердых растворов:  $\gamma$  - твердый раствор с неограниченной растворимостью компонентов и  $\alpha$  – твердый раствор с ограниченной растворимостью компонента К в В. Предел растворимости составляет  $x_2$  при температуре  $t_1$  и  $x_1$  при комнатной температуре. Отличаются эти твердые растворы кристаллическим строением.

В точке «с» происходит изменение кристаллической решетки компонента В, а в точке «f» - компонента К. При охлаждении сплавов на линии cdf начинается превращение твердого раствора  $\gamma$  в другие фазы (в связи с изменением кристаллической решетки компонентов). При этом в сплавах с концентрацией до  $x_3$  (левая часть диаграммы) образуются кристаллы твердого раствора  $\alpha$ , а в сплавах с концентрацией К больше  $x_3$  - кристаллы компонента К. Заканчивается это превращение  $\gamma$  на линии mnd при температуре  $t_1$  образованием механической смеси типа эвтектической (такая смесь называется *эвтектоидной*) из кристаллов твердого раствора  $\alpha$  и компонента К. Линия me показывает предельную растворимость К в твердом растворе  $\alpha$  в зависимости от температуры.

Как видно из рис. 8, для сплавов таких систем можно проводить упрочняющую термическую обработку.

### Практическое занятие (Анализ структуры чугуна. Свойства и применение чугунов).

**Чугун** – это железуглеродистый сплав с содержанием углерода от 2,14 до 6 %. Кроме этих элементов, в чугуне содержится еще ряд примесей (кремний, марганец, сера, фосфор и др.). С целью улучшения свойств в чугуны могут вводиться легирующие элементы, такие как хром, никель, медь и др.

Чугун, по сравнению со сталью, имеет как преимущества, так и недостатки. Положительными свойствами этого материала являются: хорошие литейные свойства (более низкая, чем у стали, температура плавления, меньшая усадка, хорошая жидкотекучесть), хорошая обрабатываемость

резанием (кроме одной разновидности – белого чугуна), достаточно высокая работоспособность в условиях трения, способность гасить вибрации, небольшая стоимость.

Недостатком чугуна являются его низкие пластические свойства и ударная вязкость, что препятствует использованию чугуна для изготовления деталей, работающих при значительных динамических, ударных нагрузках, и делает невозможным в большинстве случаев использование обработки давлением (ковки, штамповки, прокатки и т. д.) для изготовления чугунных изделий.

По структуре различают чугуны, в которых углерод находится в виде химического соединения с железом  $Fe_3C$  – цементита, и чугуны, в которых углерод, в основном, находится в свободном состоянии, в виде графита.

Первая разновидность называется *белым чугуном*. Структура белых чугунов описывается чугуновой частью диаграммы железо-углерод (рис. 1).

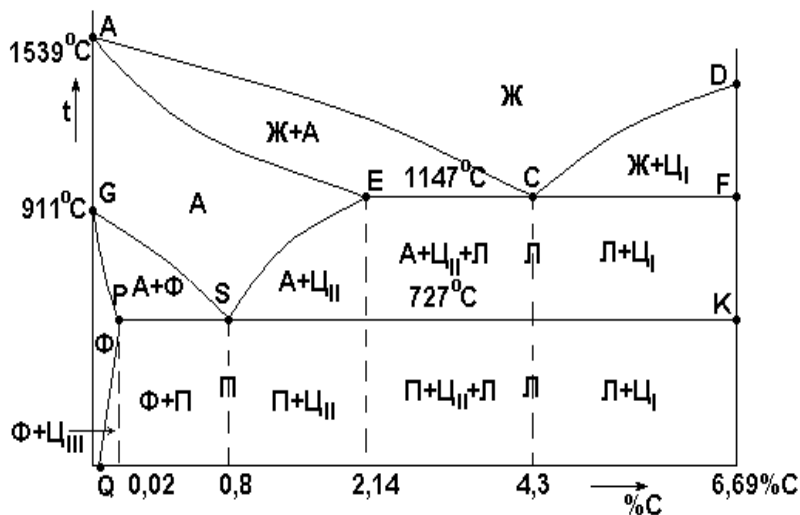


Рис. 1. Диаграмма железо-углерод:

- Ж – жидкий раствор; А – аустенит (твёрдый раствор углерода в  $\gamma$ -Fe);
- Ц – цементит ( $Fe_3C$ ); Ф – феррит (твёрдый раствор углерода в  $\alpha$ -Fe);
- П – перлит (эвтектоидная смесь феррита и цементита);
- Л – ледебурит (эвтектическая смесь аустенита и цементита, ниже линии *PSK* – смесь перлита и цементита)

Согласно диаграмме, существует три разновидности белых чугунов: *дозэвтектический* со структурой перлит, ледебурит и вторичный цементит, *эвтектический* со структурой ледебурит и *заэвтектический* со структурой ледебурит и первичный цементит (рис. 2).

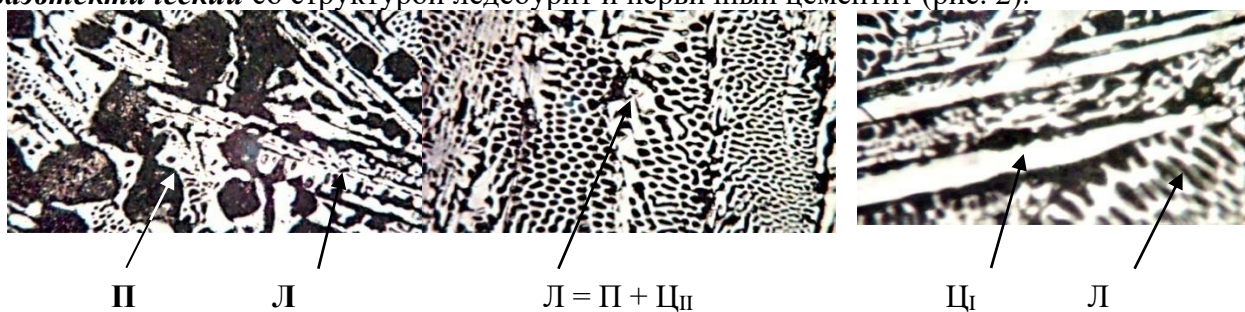


Рис. 2.

Получают белый чугун при ускоренном охлаждении в процессе отливки деталей, заготовок. Способствует также получению этой разновидности чугуна повышенное содержание в нем хрома, марганца. Структура белого чугуна определяет его механические свойства: это твердый хрупкий материал, имеющий предел прочности при растяжении  $\sigma_b = 100-400$  МПа ( $10-40$  кг/мм<sup>2</sup>), твердость НВ 300-700 и относительное удлинение  $\delta = 0,1-0,2$  %. Вследствие низкой пластичности, белый чугун

применяется очень редко, в основном, для изделий, работающих в условиях абразивного и гидроабразивного износа, когда его повышенная хрупкость не играет решающей роли.

В ряде случаев изготавливают детали с так называемой отбеленной поверхностью. Их поверхностный слой представляет собой белый чугун и имеет повышенную твердость и износостойкость, а сердцевина имеет структуру другой разновидности чугуна (с наличием графита), что обеспечивает необходимый комплекс механических свойств. *Примерами таких изделий с отбеленной поверхностью являются валки для холодной прокатки металла, шары для шаровых мельниц.*

Чугуны, в которых углерод находится в свободном виде, классифицируют по форме графитовых включений:

5. **Серый чугун.** В нем содержится графит в виде пластинчатых включений.

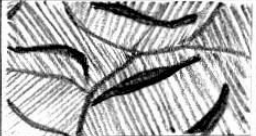
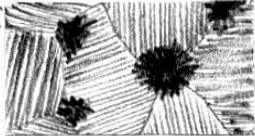
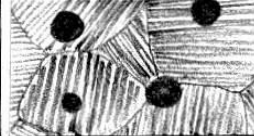
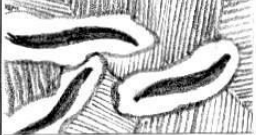

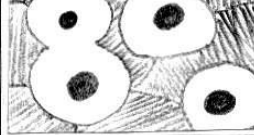


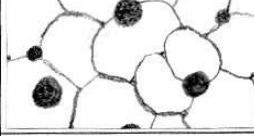
6. **Ковкий чугун** с хлопьевидными включениями графита.

7. **Высокопрочный чугун,** в котором графит имеет шаровидную форму.

Металлическая основа этих чугунов может быть *перлитной, ферритной* или *феррито-перлитной*.

Схематические структуры рассматриваемых чугунов показаны на рис. 3.

Поскольку графитовые включения отрицательно сказываются на механических свойствах металла,

Структура металлической основы (твердость)	Тип чугуна и форма графита		
	Серый с пластинчатым графитом	Ковкий с хлопьевидным графитом	Высокопрочный с шаровидным графитом
Перлит (250 НВ)			
Перлит и феррит (200 НВ)			
Феррит (150 НВ)			
$\delta, \%$	0,2-0,5	5-10	10-15

особенно на пластичности, то чем менее разветвленную форму они имеют, тем меньше их отрицательное влияние. Самая неудачная, с точки зрения механических свойств, форма графита – пластинчатая (пластичность при этом самая низкая), а наиболее благоприятная – шаровидная форма включений, обеспечивающая максимальную пластичность (рис. 3). Это связано с тем, что графитовые включения играют роль трещин, пустот в чугуне и являются концентраторами напряжений. Чем более компактную форму имеют эти включения, тем более «мягкий» получается концентратор напряжений и тем меньше снижение механических свойств металла за счет графита.

**Серый чугун** получают при медленном охлаждении металла при литье изделий, а также при повышенном содержании кремния, углерода. Обозначается он буквами СЧ, после которых ставится цифра, показывающая предел прочности при растяжении  $\sigma_b$  в кг/мм<sup>2</sup> (ГОСТ 1412-85). Например, СЧ12 ( $\sigma_b = 12$  кг/мм<sup>2</sup>). Применяется серый чугун для изготовления слабонагруженных деталей, работающих в легких условиях. *Например, корпуса редукторов, насосов, электродвигателей, различные крышки, отопительные батареи и т.п.*

**Ковкий чугун** получают из белого чугуна путем специального отжига. Это длительная термическая обработка, при которой белый чугун медленно нагревается до температур 950-1000 °С и после определенной выдержки медленно охлаждается. При таком отжиге происходит графитизация цементита белого чугуна с образованием хлопьевидных включений графита. Обозначается ковкий чугун буквами КЧ, после которых следуют цифры, показывающие предел прочности при растяжении  $\sigma_b$  в кг/мм<sup>2</sup> – первая цифра, и относительное удлинение  $\delta$  в % – вторая цифра (ГОСТ 1215 в редакции 1992 г.). Например, КЧ30-6 ( $\sigma_b = 30$  кг/мм<sup>2</sup>,  $\delta = 6$  %). Применяется этот чугун для изготовления деталей, работающих в более тяжелых условиях по сравнению с деталями из серого чугуна - при повышенных нагрузках, при знакопеременных и небольших ударных нагрузках. Например, картеры редукторов, коробок передач автомобилей, кронштейны рессор, различные крюки, фланцы и т.п.

**Высокопрочный чугун** получают путем модифицирования его при выплавке магнием или церием в количестве 0,05 %. Модификаторы способствуют формированию шаровидных включений графита. Обозначаются высокопрочные чугуны буквами ВЧ и цифрой, показывающей предел прочности при растяжении  $\sigma_b$  (ГОСТ 7293-85). Например, ВЧ 40 ( $\delta_b = 40$  кг/мм<sup>2</sup>). Применяется высокопрочный чугун для изготовления ответственных деталей, работающих в довольно сложных условиях при повышенном нагружении. Например, коленчатые и распределительные валы легковых автомобилей, прокатные валки, корпуса турбин, детали кузнечно-прессового оборудования и др.

Представляет интерес использование чугунов для деталей, работающих в специфических условиях (агрессивные среды, высокие температуры и др.). Для этого в чугуны вводят легирующие элементы, способствующие повышению необходимых свойств. Такие чугуны называют **легируемыми** или чугунами специального назначения. Они дешевле легированных сталей и вследствие лучших литейных свойств оказываются предпочтительнее для получения отливок.

Таблица 1

**Марки и механические свойства чугунов**

Марка чугуна	$\sigma_b$ , МПа (кг/мм <sup>2</sup> )	$\delta$ , %	НВ
СЧ10	100 (10)	–	190
СЧ15	150 (15)	–	210
СЧ20	200 (20)	–	230
СЧ35	350 (35)	–	275
КЧ 30-6	300 (30)	6	100-163
КЧ 35-10	350 (35)	10	100-163
КЧ 45-7	450 (45)	7	150-207
КЧ 60-3	600 (60)	3	200-269
ВЧ 35	350 (35)	22	140-170
ВЧ 40	400 (40)	15	140-202
ВЧ 50	500 (50)	7	153-245
ВЧ 70	700 (70)	2	228-302

*Примечание:* Для серых чугунов толщина стенки отливки 15 мм, для ковких чугунов размер отливки 16 мм.

**Практическое занятие** Анализ структуры углеродистых сталей.

На диаграмме состояния железо–углерод (рис. 1) сплавы, относящиеся к сталям, расположены в интервале концентраций углерода до 2,14 %, т.е. левее точки Е. При температурах ниже 727 °С все отожженные углеродистые стали состоят из двух фаз □ феррита и цементита. Феррит □ это твердый раствор углерода в железе с объемно-центрированной кубической решеткой (Fe<sub>α</sub>). Максимальная

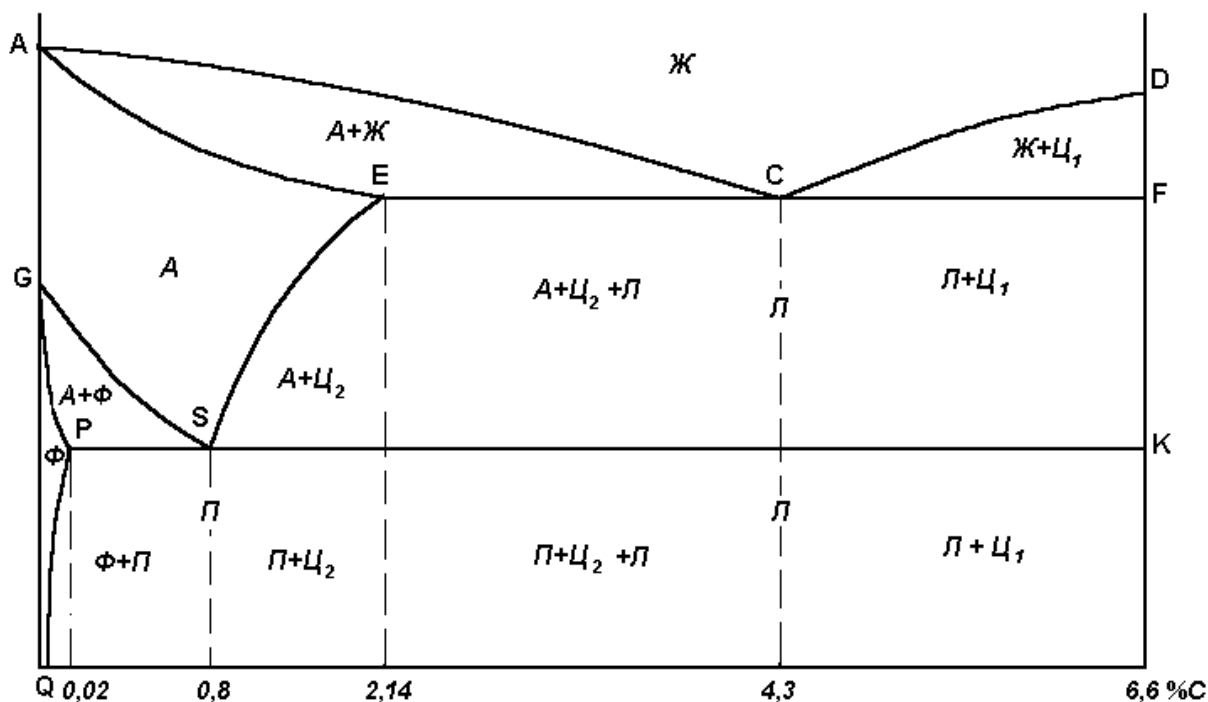


растворимость углерода в  $Fe_\alpha$  составляет около 0,02 % (точка P). Цементит  $\square$  это карбид железа  $Fe_3C$ , содержащий 6,67 % C.

При температурах выше линии GSE равновесной фазой является аустенит  $\square$  твердый раствор углерода в железе с гранцентрированной кубической решеткой ( $Fe_\gamma$ ). Предельная растворимость углерода в  $Fe_\gamma$  2,14 % (точка E).

В результате фазовых превращений в твердом состоянии при малых скоростях охлаждения в стали образуются следующие структуры: перлит, избыточный феррит, вторичный цементит и третичный цементит.

Рис. 1. Диаграмма Fe –  $Fe_3C$



На линии GS из аустенита начинает выделяться избыточный феррит, а на линии SE  $\square$  вторичный цементит. На линии PQ из феррита выделяется третичный цементит. Во всех сплавах правее точки P при небольшом переохлаждении до температур ниже 727 °C аустенит эвтектоидного состава (0,8 % C) распадается на эвтектоидную смесь феррита и цементита, называемую перлитом, причем цементит может быть в виде пластинок или зерен (Приложение, рис. 4).

Сталь, содержащую 0,8 % C, называют эвтектоидной. Стали, содержащие менее 0,8 % C называют доэвтектоидными, а более 0,8 % C  $\square$  заэвтектоидными.

Металлографический анализ металлов и сплавов заключается в исследовании структуры материалов при больших увеличениях с помощью микроскопа, а наблюдаемая структура называется микроструктурой. Изучение под микроскопом структуры металлов возможно лишь при достаточно интенсивном отражении световых лучей от исследуемой поверхности. Поэтому поверхность образца должна быть специально подготовлена. Образец, поверхность которого подготовлена для металлографического анализа, называется микрошлифом. Для изготовления микрошлифа необходимо вырезать образец из исследуемого металла, получить на нем плоскую, блестящую поверхность, а затем шлиф травят. Существует несколько методов травления, из которых наиболее распространен метод избирательного растворения фаз. Метод основан на различии физико-химических свойств отдельных фаз и пограничных участков зерен. В результате различной интенсивности растворения создается рельеф поверхности шлифа. Для травления микрошлифа погружают полированную поверхность в раствор избранного состава и через некоторое время вынимают. Если полированная поверхность станет слегка матовой, травление считается

законченным, шлиф сразу же промывают водой, затем спиртом и высушивают фильтровальной бумагой.

Микрошлифы сталей травят 3-4% раствором  $\text{HNO}_3$  в спирте, после чего структурно свободные феррит и цементит по сравнению с темным (коричневатым) перлитом выглядят белыми.

При охлаждении доэвтектоидной стали из аустенита вначале выделяется феррит. Размер ферритных зерен в значительной степени зависит от скорости охлаждения аустенита. При рассмотрении в микроскоп феррит наблюдается в виде светлых зерен неодинаковой яркости (Приложение, рис. 1). По мере увеличения концентрации углерода в доэвтектоидной стали количество зерен феррита убывает (Приложение, рис. 2), а количество перлита увеличивается.

В сплавах, содержащих 0,5-0,75 % С зерна феррита располагаются по границам зерен другой структурной составляющей  $\square$  перлита  $\square$  в виде разорванной сетки (Приложение, рис. 3).

В доэвтектоидной стали перлит в большинстве случаев имеет пластинчатое строение. Темные пластинки, видимые в перлите, представляют собой тени, отбрасываемые на участки феррита выступающими после травления участками цементита. Форма выделения перлита в доэвтектоидных и заэвтектоидных сталях определяется условиями выполнения отжига. Форма и размер частиц цементита в перлите существенно влияют на свойства стали. Так, например, зернистый перлит более пластичен и имеет меньшую твердость, чем пластинчатый. Твердость зернистого перлита 160-220 НВ, а пластинчатого  $\square$  200-250 НВ. С уменьшением размера цементитных частиц твердость и прочность перлита возрастает. Форма цементитных частиц влияет на обрабатываемость стали резанием. Доэвтектоидные стали хорошо обрабатываются резанием, если имеют структуру пластинчатого перлита, а эвтектоидные и заэвтектоидные  $\square$  зернистого.

В заэвтектоидных сталях возможно выделение вторичного цементита в виде сетки по границам зерен перлита (Приложение, рис. 5). Это происходит в результате окончания горячей обработки при излишне высокой температуре и является значительным дефектом заэвтектоидной стали, ухудшает ее прочность и вязкость. Еще одной, но более редко встречающейся формой выделения цементита, также сильно ухудшающей механические свойства, является образование его в виде игл (вследствие значительного перегрева).

Итак, можно выделить четыре типа структур сталей.

Первый тип структуры  $\square$  феррит и третичный цементит  $\square$  наблюдается в низкоуглеродистых сталях, содержащих до 0,02 % С (т.  $\wedge$  Р). Такие стали называются техническим железом.

Второй тип структуры  $\square$  феррит и перлит  $\square$  наблюдается в доэвтектоидных сталях, содержащих от 0,02 до 0,8 % С (т. S). Чем больше в доэвтектоидной стали углерода, тем больше в ней перлита.

Третий тип структуры  $\square$  перлит  $\square$  наблюдается в эвтектоидной стали, содержащей 0,8 % С.

Четвертый тип структуры  $\square$  вторичный цементит и перлит  $\square$  наблюдается в заэвтектоидной стали с содержанием углерода от 0,8 до 2,14 % (т. E).

### **Отличие доэвтектоидных сталей от заэвтектоидных по микроструктуре**

В доэвтектоидных и заэвтектоидных сталях имеется одна общая для обоих типов структур составляющая  $\square$  перлит. Отличить при микроанализе до- и заэвтектоидные стали друг от друга можно только по избыточным выделениям: если в структуре находится избыточный феррит, то сталь доэвтектоидная, а если вторичный цементит, то сталь заэвтектоидная.

Имеются три металлографических способа отличить доэвтектоидные стали от заэвтектоидных.

а) При травлении раствором азотной кислоты избыточные феррит и цементит имеют светлый оттенок. Относительное весовое количество избыточного феррита в доэвтектоидных сталях может изменяться от 100 % (сталь состава точки Р) до 0 % (сталь состава точки S). В то же время количество вторичного цементита в заэвтектоидных сталях может изменяться в узких пределах  $\square$  от 0 % (сталь состава точки S) до 20 % (сталь состава точки E).

Таким образом, если в отожженной стали, наряду с темным перлитом, обнаруживается светлая составляющая, занимающая более 20 % всей площади поля шлифа, видимого в микроскоп, то эта составляющая является избыточным ферритом, и сталь, следовательно, доэвтектоидная.

б) Если относительное количество светлой составляющей меньше 20 %, или если при микроанализе трудно произвести количественную оценку, то эта светлая составляющая может оказаться как избыточным ферритом, так и вторичным цементитом. В этом случае следует использовать

индикаторный травитель □ горячий щелочной раствор пикрата натрия, который окрашивает цементит в темно-коричневый цвет, оставляя феррит светлым.

в) Если избыточная фаза занимает менее 20 % площади шлифа, протравленного азотной кислотой, то при наличии некоторого опыта можно отличить вторичный цементит от избыточного феррита по форме и оттенку выделений.

Сетка избыточного феррита после отжига составлена из отдельных зерен, в то время как вторичный цементит на шлифе выявляется в виде почти непрерывной сетки. Сетка вторичного цементита выступает над перлитом в виде рельефа, так как твердый цементит после полировки слегка возвышается над более мягким и сильнее сползующимся перлитом. Вторичный цементит может выделяться из аустенита также в виде изолированных игл, как по границам, так и внутри колоний перлита. Наконец, цементит выглядит под микроскопом более светлым по сравнению с ферритом.

### **Металлографическое определение углерода в отожженных сталях**

Если углеродистая сталь хорошо отожжена, т.е. приведена в равновесное состояние, то микроструктурным анализом можно определить содержание в ней углерода.

Такие определения фактически выполняют только для доэвтектоидных сталей, так как в заэвтектоидных сталях значительное изменение в содержании углерода мало и почти незаметно изменяет микроструктуру.

Углерод в доэвтектоидной стали распределен между избыточным ферритом и перлитом. В феррите содержатся тысячные доли процента углерода, которыми можно пренебречь и считать, что практически весь углерод в доэвтектоидной стали находится в перлите. В перлите содержится 0,8 % С. В доэвтектоидной стали на перлит приходится только часть сплава, и содержание углерода в весовых процентах пропорционально площади шлифа, занимаемой перлитом. Эта пропорция вытекает из примерного равенства удельных весов феррита и перлита; в противном случае по микроструктуре можно было бы судить только об объемном соотношении.

Содержание углерода в доэвтектоидной стали:  $\% C = 0,8 \times F_{\Pi} / 100$ ,

где  $F_{\Pi}$  – площадь, занятая перлитом (в %) в поле зрения микроскопа.

$F_{\Pi}$  чаще всего оценивают на глаз. Такой метод может показаться слишком грубым; в действительности же он дает хорошие результаты. Если абсолютная ошибка в оценке площади, занимаемой перлитом, составляет 10 %, то абсолютная ошибка в определении содержания углерода составляет всего 0,08 %.



Рис.1

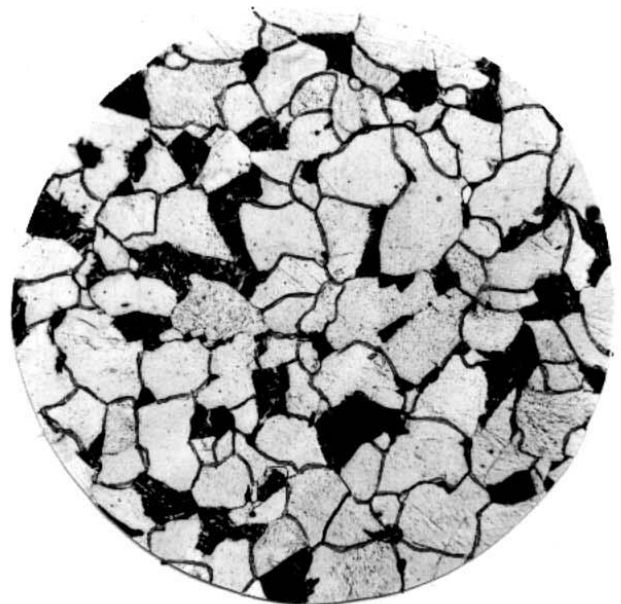


Рис.2



Рис.3



Рис.4



Рис.5

## Практическое занятие

Легированные стали классифицируются по назначению, составу, количеству легирующих элементов и структуре.

В зависимости от назначения легированные стали делятся на:

- Конструкционные стали (цементируемые, улучшаемые, пружинно рессорные и др.), применяемые для изготовления деталей машин: •Инструментальные стали, применяемые для изготовления режущего, измерительного и штампового инструмента;
- Стали с особыми свойствами, например, нержавеющей, жаропрочные жаростойкие и т.д.

Низкоуглеродистые стали (цементитные)

К низкоуглеродистым сталям относятся стали с содержанием углерода до 0,25%, например, марок 15Г; 20Х; 18ХГТ; 20Х2Н4А и др.

Легированные низкоуглеродистые стали после отжига имеют структуру феррит + перлит, а так же после закалки малоуглеродистый мартенсит.

Установлено, что добавки азота вместе с нитридообразующими элементами способствует значительному измельчению зерна и повышению температуры начала роста зерна аустенита. Нитриды влияют на свойства стали также путём воздействия на кинетику превращения аустенита и на дисперсное твердение.

Высокая пластичность, мелкое зерно и особенно высокая температура его роста способствуют получению качественных сварных соединений листов толщиной от 20 мм - сталь с нитридами алюминия и до 100 мм (сталь с нитридами ванадия). Низколегированная сталь с нитридным упрочнением удовлетворительно деформируется в холодном и горячем состояниях. Сталь такого типа характеризуется высоким сопротивлением хрупкому разрушению и достаточно низким порогом хладно ломкости.

В настоящее время для изготовления различного рода сварных конструкций деталей и узлов используется большое число марок малоуглеродистых и среднелегированных сталей, соответствующих ГОСТ 380-7.1; 5521-67; 6713-75; 1050-75; 19282-73, а также техническим условиям и отраслевым стандартам.

Согласно ГОСТ 19282-73, предусматривается выпуск 28 марок низколегированной стали, применяемой для сварных конструкций в промышленном и гражданском строительстве и машиностроении.

**Химический состав (%) некоторых цементуемых (низколегированных) сталей (ГОСТ 1050-74 и 4543-71)**

Марка стали	Элементы				Другие элементы
	C	Mn	Cr	Ni	
20Х	0,17-0,23	0,5-0,8	0,7-1,0	≤0,25	-
15ХФ	0,12-0,18	0,4-0,7	0,8-1,1	≤0,25	0,06-0,12 V
12ХН2	0,09-0,16	0,3-0,6	0,6-0,9	1,5-1,9	-
12ХН3А	0,09-0,16	0,3-0,6	0,6-0,9	2,75-3,15	-
20Х2Н4А	0,16-0,22	0,3-0,6	1,25-1,65	3,25-3,65	-
18ХГТ	0,17-0,23	0,8-1,1	1,0-1,3	≤0,25	0,03-0,09 Ti
25ХГТ	0,22-0,29	0,8-1,1	1,0-1,3	≤0,25	0,03-0,09 Ti
18Х2Н4МА	0,14-0,20	0,25-0,55	1,35-1,65	4,0-4,4	0,3-0,4 Mo
20ХГНР	0,16-0,23	0,7-1,0	0,7-1,0	0,8-1,1	0,001-0,005B

Цементуемые легированные стали целесообразно применять для тяжело нагруженных деталей и в том числе для деталей, в которых необходимо иметь высокую твёрдость и вязкость поверхностного слоя и достаточно прочную сердцевину. В легированных цементуемых сталях, несмотря на небольшое содержание углерода, благодаря значительному количеству легирующих примесей, гораздо легче получить при термической обработке более высокую прочность и вязкость сердцевины

из-за образования в ней структур бейнита или низкоуглеродистого мартенсита. Поэтому из них изготавливают ответственные детали.

Стали хромистые (20Х), хромованадиевые (15ХФ), хромоникелевые (12ХН2). Их при меняют для изготовления деталей небольших и средних размеров, работающих на износ при повышенных нагрузках (втулки, валики, оси, некоторые зубчатые колёса, кулачковые муфты, поршневые пальцы и др.).

Стали хромоникелевые (12ХН3А, 20Х2Н4А), хромомарганцетитановые (18ХГТ, 25ХГТ), хромоникельмолибденовые (18Х2Н4МА). Их применяют для деталей средних и больших размеров, работающих на износ при высоких нагрузках (зубчатые колёса, поршневые пальцы, оси, ролики и др.).

Хромоникелевые стали мало чувствительны к перегреву, хорошо прокаливаются, но их применяют ограниченно из-за дефицитности никеля. Поэтому во всех случаях, когда нет крайней необходимости, хромоникелевые стали заменяют сталями без никеля.

Цементуемые хромомарганцетитановые стали (18ХГТ, 25ХГТ) являются заменителями хромоникелевых сталей. Преимуществом сталей 18ХГТ и 25ХГТ является их наследственная мелкозернистость (размер зерна №6-8). Это технологическое свойство позволяет значительно сократить общий технологический цикл обработки и закалывать детали из этих сталей непосредственно из цементационной (газовой) печи с предварительным подстуживанием.

Борсодержащие стали (20ХГНР). В конструкционные стали бор вводят в количестве от 0,001 до 0,005% (так называемое микролегирование). Бор повышает плотность слитка, устраняет дендритную структуру. Стали с бором легче обрабатываются при горячей пластической деформации, хорошо обрабатываются резанием.

Улучшаемые (среднелегированные) стали

Эти стали называют улучшаемыми потому, что их часто подвергают улучшению—термической обработке, заключающейся в закалке и отпуске при высоких температурах. Улучшаемые стали должны иметь высокую прочность, пластичность, высокий предел выносливости, малую чувствительность к отпускной хрупкости, должны хорошо прокаливаться. Химический состав некоторых улучшаемых сталей приведён в таблице:

**Химический состав (%) некоторых улучшаемых среднелегированных сталей (ГОСТ 1050-74 и 4543-7**

Марка стали	Элементы				Другие элементы
	С	Mn	Cr	Ni	
45Х	0,41-0,49	0,5-0,8	0,8-1,1	≤0,25	-
30ХРА	0,27-0,33	0,5-0,8	1,0-1,3	≤0,25	0,001-0,005В
30ХГСА	0,28-0,34	0,8-1,1	0,8-1,1	≤0,25	0,9-1,2Si
45ХН	0,41-0,49	0,5-0,8	0,45-0,75	1,0-1,4	-
40ХН2МА	0,37-0,44	0,5-0,8	0,6-0,9	1,25-1,65	0,15-0,25Mo

Хромистые стали (40Х,45Х). Благодаря высокой прочности и достаточно хорошей прокаливаемости эти стали применяют для изготовления коленчатых валов, зубчатых колес, осей валиков, рычагов, втулок, болтов, гаек. Детали из этих сталей закалывают в масле с температуры 820-8500С. В зависимости от предъявляемых требований отпуск деталей проводят при различных температурах.

Хромистые стали с 0,001-0,005% бора (30ХРА, 40ХР). Они имеют повышенную прочность и прокаливаемость.

Хромокремнемарганцевые стали (30ХГСА, 35ХГСА). Эти стали, называемые хромансиль. Не содержат дефицитных легирующих элементов. Имеют высокие механические свойства. Хорошо свариваются и заменяют хромоникелевые и хромомолибденовые стали.

Хромоникелевые стали (40ХН, 45 ХН). Они имеют после термической обработки высокую прочность и пластичность и хорошо сопротивляются ударным нагрузкам. Прочность стали придает хром, а пластичность – никель. Хромоникелевые стали прокаливаются на очень большую глубину по сравнению не только с углеродистыми, но и другими легированными сталями. Указанные стали

применяют для изготовления ответственных сильно нагруженных деталей – для шестерен, валов и т.п.

Хромоникельмбденовая сталь (40ХН2МА). Эта сталь в улучшенном состоянии имеет высокую прочность при хорошей вязкости, высокую усталостную прочность, глубоко прокаливается; ее применяют для изготовления сильно нагруженных деталей, работающих в условиях больших знакопеременных нагрузок. Улучшение проводят по режиму: закалка с 850<sup>0</sup>С в масле, отпуск при 620<sup>0</sup>С.

### Пружинно–рессорные стали

Пружинно-рессорные стали должны иметь особые свойства в связи с условиями работы пружин(цилиндрических, плоских) и рессор. Пружины и рессоры служат для смягчения толчков и ударов, действующих на конструкции в процессе работы, и поэтому основным требованием, предъявляемым к пружинно-рессорным сталям, является высокий предел упругости и выносливости. Этим условиям удовлетворяют углеродистые стали и стали, легированные такими элементами, которые повышают предел упругости. Такими элементами являются Si, Mn, Cr, V, W. Специфическим в термической обработке рессорных листов и пружин является применение после закалки отпуска при температуре 400-500<sup>0</sup>С (в зависимости от стали). Это необходимо для получения наиболее высокого предела упругости, величина которого при более низкой или более высокой температуре отпуска получается недостаточной. Отпуск при температуре 400-500<sup>0</sup>С дает отношение  $\sigma_p/\sigma_b$  приблизительно равное 0,8.

### Химический состав (%) некоторых пружинно-рессорных сталей (ГОСТ 14959 – 69)

Марка стали	Элементы			Другие элементы
	C	Si	Mn	
65Г	0,62-0,70	0,17-0,37	0,90-1,20	≤0,25Cr
60С2	0,57-0,65	1,50-2,00	0,60-0,90	≤0,30С
50ХГ	0,46-0,54	0,17-0,37	0,70-1,00	0,90-1,20Cr
50ХФА	0,46-0,54	0,17-0,37	0,50-0,80	0,80-1,10Cr 0,10-0,20V
65С2ВА	0,61-0,69	1,50-2,00	0,70-1,00	≤0,30Cr 0,80-1,20W
60С2Н2А	0,56-0,64	1,40-1,80	0,40-0,70	≤0,30Cr 1,40-1,70Ni
70С2ХА	0,65-0,75	1,40-1,70	0,40-0,60	0,20-0,40С

### Шарикоподшипниковые стали

Основной шарикоподшипниковой сталью является сталь ШХ15(0,95-1–1,05% С; 1,3–1,65 %Cr). Заэвтектоидное содержание в ней углерода и хром обеспечивают получение после закалки высокой равномерной твердости, устойчивости против истирания, необходимой прокаливаемости и достаточной вязкости.

На качество стали и срок службы подшипника вредно влияют карбидные ликвация, полосчатость и сетка. На физическую однородность стали вредно влияют неметаллические (сульфидные и оксидные) и газовые включения, макро- и микропористость.

Термическая обработка подшипниковой стали включает операции отжига, закалки и отпуска. Цель отжига—снизить твердость и получить структуру мелкозернистого перлита. Температура закалки 830-860<sup>0</sup>С, охлаждение в масле. Отпуск 150-160<sup>0</sup>С. Твердость после закалки и отпуска HRC62-65; структура—бесструктурный (скрытокристаллический) мартенсит с равномерно распределёнными мелкими избыточными карбидами.

Для изготовления деталей, крупногабаритных подшипников (диаметром более 400 мм.), работающих в тяжёлых условиях при больших ударных нагрузках, применяют цементуемую сталь 20Х2Н4А. Детали крупногабаритных подшипников (кольца, ролики), изготавливаемые из стали 20Х2Н4А, подвергают цементации при температуре 930-950<sup>0</sup>С в течение 50-170 часов с получением слоя глубиной 5-10мм.

#### **Автоматные стали**

Автоматные стали отличаются от обыкновенных углеродистых конструкционных сталей повышенным содержанием серы и фосфора.

#### **Химический состав (%) некоторых автоматных сталей (ГОСТ 1414-54)**

Марка стали	Элементы				
	C	Mn	Si	S	P
A12	0,08-0,16	0,60-0,90	0,15-0,35	0,08-0,20	0,08-0,15
A20	0,15-0,25	0,60-0,90	0,15-0,35	0,08-0,15	≤0,06
A30	0,25-0,35	0,70-1,00	0,15-0,35	0,08-0,15	≤0,06
A40Г	0,35-0,45	1,20-1,55	0,15-0,35	0,18-0,30	≤0,06

Характерной особенностью автоматных сталей является хорошая обрабатываемость резанием на металлорежущих станках. Это объясняется повышенным содержанием серы, которая образует большое количество включений сернистого марганца MnS, нарушающих сплошность металла, а также тем, что фосфор, растворяясь в феррите, сильно снижает его вязкость. При механической обработке автоматных сталей образуется короткая, ломкая стружка, что особенно важно при работе на быстроходных станках-автоматах. Поверхность обработанных деталей получается чистой и ровной. Стойкость режущего инструмента при обработке автоматных сталей повышается, а скорость резания допускается больше, чем при обработке обыкновенных углеродистых сталей.

Недостаток автоматных сталей—пониженная пластичность, особенно в поперечном направлении. Это связано с тем, что большое количество сернистых включений образует полосчатую структуру. Поэтому автоматные стали применяют для изготовления малоответственных деталей, от которых не требуется высоких механических свойств (крепежные детали, пальцы, втулки и т.п.).

Обрабатываемость улучшают также присадкой к стали небольшого количества свинца.

#### **Высокомарганцовистая износостойкая сталь Г13Л**

Эта сталь, содержащая 1-1,4% С и 11–14 % Mn и относящаяся к аустенитному классу, имеет высокое сопротивление износу. Характерным для нее является то, что высокая износостойкость сочетается с высокой прочностью и низкой твердостью [ $\sigma \sim 1000$  МН /м<sup>2</sup>(100 кгс/мм<sup>2</sup>), НВ~210] в противоположность закаленным инструментальным сталям, в которых сопротивление износу обусловлено высокой твердостью. Высокая износостойкость стали Г13Л объясняется упрочнением (наклепом) аустенита при пластической деформации в процессе работы, в результате которого он в поверхностном слое превращается в мартенсит. По мере износа этого слоя, мартенсит образуется в следующем слое и т.д. При повышенных давлений, например при абразивном износе, эта сталь не имеет достаточно высокой износостойкости. Сталь Г13Л применяют для трамвайных стрелок, щек камнедробилок, козырьков ковшей, черпаков и т.п.

#### **Жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы**

К **жаростойким (окалиностойким)** относят стали и сплавы, обладающие стойкостью против химического разрушения поверхности в газовых средах при температурах выше 550<sup>0</sup>С и работающие в ненагруженном или слабонагруженном состоянии.

При высокой температуре в условиях эксплуатации в среде нагретого воздуха, в продуктах сгорания топлива происходит окисление стали (газовая коррозия). На поверхности стали образуется сначала тонкая пленка окислов, которая с течением времени увеличивается и образуется окалина.

Способность стали сопротивляться окислению при высокой температуре называется жаростойкостью (окалиностойкостью).



Жаростойкость принято характеризовать температурой начала интенсивного окалинообразования в воздушной среде.

На интенсивность окисления влияет состав и строение окисной пленки. Если она пористая, окисление происходит интенсивно. Если плотная—окисление замедляется или даже совершенно прекращается.

Для получения плотной (защитной) окисной пленки сталь легируют хромом, также кремнием или алюминием. Степень жаростойкости зависит от количества находящегося в стали легирующего элемента. Так, например, сталь 15х5 с содержанием 4,5-6,0% хрома жаростойка до температуры 700 °С, сталь 12х17 (17% Cr)—до 900°С, сталь 15х28 (28% Cr)—до 1100-1150°С (стали 12х17 и 15х28 являются также и нержавеющей). Еще более высокой жаростойкостью (1200°С) обладают сплавы на никелевой основе с хромом и алюминием, например, сплав ХН7ОЮ (26-29 % хрома; 2,8-3,5% алюминия).

Структура стали на жаростойкость не влияет.

К **жаропрочным** относят стали и сплавы, способные работать в нагруженном состоянии при высоких температурах в течение определенного времени и обладающие при этом достаточной жаростойкостью.

В отличие от прочности при нормальной (комнатной) температуре, прочность при высоких температурах, т.е. сопротивлении механическим нагрузкам при высоких температурах, называют жаропрочностью.

Характерным является, не только уменьшение прочности стали при высоких температурах, но и влияние на прочность стали при высоких температурах длительности действия приложенной нагрузки. В последнем случае под действием постоянной нагрузки сталь «ползет», поэтому данное явление названо ползучестью. Итак, ползучесть—это деформация, непрерывно увеличивающаяся и завершающаяся разрушением под действием постоянной нагрузки при длительном воздействии температуры. Для углеродистых и легированных конструкционных сталей ползучесть наблюдается при температурах выше 350°С.

Ползучесть характеризуется пределом ползучести. Предел ползучести—это напряжение, вызывающее деформацию заданной величины (обычно от 0,1 до 1%) за определенный промежуток времени (100, 300, 500, 1000ч.) при заданной температуре.

Предел ползучести обозначает  $\sigma$  с тремя числовыми индексами: двумя нижними и одним верхним. Первый нижний индекс означает заданное удлинение в процентах, второй нижний индекс—заданное время испытания в часах, верхний индекс—температуру в °С. Например  $\sigma_{0,2}/600-300$ —предел ползучести при допуске на деформацию 0,2% за 300 ч испытания при температуре 600° С.

Кроме того, жаропрочность характеризуют пределом длительной прочности  $\sigma$ - напряжением, вызывающим разрушение при данной температуре за данный интервал времени. Например,  $\sigma_{700-100}$ —предел длительной прочности при сточасовом нагружении при 700°С.

Факторами, способствующими жаропрочности, являются: высокая температура плавления основного металла; наличие в сплаве твердого раствора и мелкодисперстных частиц упрочняющей фазы; пластическая деформация, вызывающая наклеп; высокая температура рекристаллизации; рациональное легирование; термическая и термомеханическая обработка; введение в жаропрочные стали таких элементов, как бор, церий, ниобий, цирконий, в десятых, сотых и даже тысячных долях процента.

Жаропрочные стали и сплавы классифицируют по основному признаку—температуре эксплуатации. В таблице приведен химический состав некоторых жаропрочных сталей и сплавов

Для работы при температурах до 350-400°С применяют обычные конструкционные стали (углеродистые и малолегированные)

Для работы при температуре 400-550°С применяют стали перлитного класса 15ХМ1МФ. Для этих сталей основной характеристикой является предел ползучести, так они предназначены главным образом для изготовления деталей котлов и турбин (например, трубы паропроводов и пароперегревателей), нагруженных сравнительно мало, но работающих длительное время (до 100000ч).

Детали из сталей перлитного класса подвергают нормализации с температуры 950-1050<sup>0</sup>С и от пуску при 650-750<sup>0</sup>С с получением структуры сорбита с пластической формой карбидов.

Эти стали содержат мало хрома и потому обладают невысокой жаростойкостью (до 550-600<sup>0</sup>С).

Для работы при температуре 500-600<sup>0</sup>С применяют стали мартенситного класса: высокохромистые, например 15Х11МФ для лопаток паровых турбин: хромокремнистые (называемые сильхромами), например 40Х9С2 для клапанов моторов: сложнoleгированные, например 20Х12ВНМФ для дисков, роторов, валов.

Для получения оптимальной жаропрочности детали из этих сталей подвергают закалке в масле с температуры 100-150<sup>0</sup>С и от пуску при 700-800<sup>0</sup>С (в зависимости от стали). Сталь 40Х9С2 после закалки имеет структуру мартенсита и твердость HRC~60, а после отпуска—структуру сорбита, твердость HRC~30. Жаростойкость сталей мартенситного класса до температуры 750-850<sup>0</sup>С.

Для работы при температуре 600-750<sup>0</sup>С применяют стали аустенитного класса, разделяемые на неупрочняемые (нестареющие) и упрочняемые (стареющие). Нестареющие стали—это, например, сталь 09Х14Н16Б, предназначенная для труб пароперегревателей и трубопроводов установок сверхвысокого давления и применяемая после закалки с 1100-1150<sup>0</sup>С (охлаждение в воде или на воздухе).

Стареющие стали—это сложнoleгированные стали, например 45Х4Н14В2М, применяемая для клапанов моторов, деталей трубопроводов, сталь 40Х15Н7Г7Ф2МС—для лопаток газовых турбин.

#### Химический состав (%) некоторых жаропрочных сталей и сплавов

Марка и класс стали	Элементы					Прочие элементы
	С	Cr	Ni	Mo	V	
15ХМ	0,11-0,18	0,8-1,1	-	0,4-0,55	-	-
Перлитный						
12Х1МФ	0,08-0,15	0,9-1,2	-	0,25-0,35	0,15-0,3	-
15Х11МФ	0,12-0,19	10-11,5	-	0,6-0,8	0,25-0,4	-
Мартенситный						
40Х9С2	0,35-0,45	8-10	-	-	-	2-3 Si
20Х12ВНМФ	0,17-0,23	10,5-12,5	0,5-0,9	0,5-0,7	0,15-0,3	0,5-0,9 Mn 0,7-1,1 W
09Х14Н16Б	0,07-0,12	13-15	14-17	-	-	1-2 Mn 0,9-1,3 Nb
Аустенитный						
45Х14Р14В2М	0,4-0,5	13-15	13-15	0,25-0,4	-	2-2,8% W
40Х15Н7Г7Ф2МС	0,38-0,47	14-16	6-8	0,65-0,95	1,5-1,9	0,9-1,4 Si 6-8 Mn
ХН77ТЮР	≤0,07	19-22	Осн.	-	-	2,4-2,8 Ti 0,6-1 Al ≤0.01B
Сплав						
ХН55ВМТФКЮ	≤0,12	9-12	>	4-6	0,2-0,8	1,4-2 Ti 12-16 Co 4.5-6.5 W

						3.6-4.5 Al
						≤0.02 B

Детали из стареющих сталей подвергают закалке в воде, масле или на воздухе с температуры 1050-1200<sup>o</sup>C с последующим длительным (8-24ч) старением при температуре 600-800<sup>o</sup>C. При нагреве под закалку происходит растворение в твёрдом растворе (аустените) карбидов и других фаз, а после охлаждения получается однородный, пересыщенный твёрдый раствор (аустенит). При старении из пересыщенного твёрдого раствора (аустенита) выделяются высокодисперсные частицы карбидов и других фаз, упрочняющие сталь.

Жаростойкость сталей аустенитного класса 800-850<sup>o</sup>C.

Для работы при 800-1100<sup>o</sup>C применяют жаропрочные сплавы на никелевой основе, например ХН77ТЮР, ХН55ВМТФКЮ для лопаток турбин. Эти сплавы стареющие и подвергаются такой же термической обработке (закалке и старению), как и стареющие стали аустенитного класса. Жаростойкость сплавов на никелевой основе до 1200<sup>o</sup>C.