

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
СТАРООСКОЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. А.А. УГАРОВА
(филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
ОСКОЛЬСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ

«Материаловедение»

**Методические указания
для студентов очной формы обучения
по выполнению практических работ (заданий)**

Наименование специальности

27.02.07 Управление качеством продукции, процессов и услуг (по отраслям)

Квалификация выпускника
техник

Старый Оскол, 2021 г.

МУ по выполнению практических работ (заданий) по дисциплине разработаны на основе рабочей программы учебной дисциплины «Материаловедение».

Разработчик:

Подкопаева Марина Григорьевна, преподаватель ОПК СТИ НИТУ «МИСиС»

Методические указания рекомендованы

П(Ц)К специальности 22.02.01

название ПЦК

Протокол № 9 от 28.04.2021 г.

Председатель П(Ц)К/ Гришина С.С /

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Практические работы (задания)	6
1. Составление технологической карты оценки макроструктуры стали в соответствии с ГОСТ.....	6
2. Построение диаграммы состояния сплава с использованием данных термического анализа.....	8
3. Анализ фазовых превращений по диаграмме состояния «железо-углерод».....	17
4. Определение вида и состава стали по её марке.....	25
5. Выбор конструкционного материала по основным свойствам, исходя из заданных условий.....	28
6. Составление технологической карты механического испытания в соответствии с ГОСТ.....	33
Список использованных источников.....	37

Введение

Дисциплина «Материаловедение» является частью программы подготовки специалиста среднего звена в соответствии с ФГОС СПО по специальности 27.02.07 Управление качеством продукции, процессов и услуг (по отраслям).

Актуальность изучаемой дисциплины обусловлена значимостью знаний о материалах, умений исследования их свойств и качества в будущей профессиональной деятельности обучающихся.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен уметь:

- проводить исследования и испытания материалов;
- распознавать и классифицировать конструкционные и сырьевые материалы - по внешнему виду, происхождению, свойствам;
- анализировать изменение структуры и свойств материалов в результате деформации, термической обработки;

В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать:

- строение и свойства материалов, методы их исследования
- закономерности процессов структурообразования металлов и сплавов;
- основы теории сплавов;
- основы термообработки металлов и сплавов;

Методические указания по выполнению практических работ (заданий) по учебной дисциплине «Материаловедение» предназначены для обучающихся 2 курса специальности 27.02.07 Управление качеством продукции, процессов и услуг (по отраслям).

Практические работы проводятся с целью:

- приобретение навыков построения диаграмм состояния;
- приобретения навыков анализа фазовых превращений в сплавах по диаграмме состояния;
- закрепление изученного теоретического материала;
- приобретение навыков определения материала по его марке;
- приобретение навыков выбора материалов на основе анализа их свойств для конкретного применения в производстве.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен уметь:

- определять виды конструкционных материалов;
- выбрать материалы на основе анализа их свойств для конкретного применения в производстве;
- разрабатывать технические условия на выпускаемую продукцию;
- разрабатывать стандарты организации с учетом существующих требований к их содержанию и оформлению.
- анализировать изменение структуры и свойств материалов в результате деформации, термической обработки.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать:

- строение и свойства материалов, методы их исследования;
- закономерности процессов структурообразования металлов и сплавов;
- основы теории сплавов;
- основы термообработки металлов и сплавов;

Выполнение обучающимися практических заданий направлено на формирование общих компетенций:

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

ОК 02. Осуществлять поиск, анализ и интерпретацию информации, необходимой для выполнения задач профессиональной деятельности.

ОК 03. Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие.

ОК 04. Работать в коллективе и команде, эффективно взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами.

ОК 05. Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке с учетом особенностей социального и культурного контекста.

Выполнение обучающимися практических заданий направлено на формирование профессиональных компетенций:

ПК. 1.1 Оценивать качество сырья, материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий на соответствие требованиям нормативных документов и технических условий

ПК 1.4 Оценивать соответствие готовой продукции, условий ее хранения и транспортировки требованиям нормативных документов и технических условий.

ПК 2.1 Подготавливать технические документы и соответствующие образцы продукции для предоставления в испытательные лаборатории для проведения процедуры сертификации;

ПК 2.2 Оформлять документацию на подтверждение соответствия продукции (услуг) в соответствии с установленными правилами.

ПК 2.4 Разрабатывать стандарты организации, технические условия на выпускаемую продукцию.

ПК 3.1 Разрабатывать новые методы и средства технического контроля.

Методические указания по выполнению практических работ имеют теоретическую часть, с необходимыми для выполнения работы пояснениями.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

Практическая работа № 1.

Составление технологической карты оценки макроструктуры стали в соответствии с ГОСТ

Цель работы:
получить навыки работы с ГОСТ.

В результате выполнения практической работы студент должен

уметь: - определять виды конструкционных материалов; разрабатывать технические условия на выпускаемую продукцию; разрабатывать стандарты организации с учетом существующих требований к их содержанию и оформлению.

знать: строение и свойства материалов, методы их исследования; закономерности процессов структурообразования металлов и сплавов.

Краткие теоретические сведения.

ГОСТ — это государственный стандарт, который формулирует требования государства к качеству продукции, работ и услуг, имеющих межотраслевое значение. ГОСТы устанавливаются на основе применения современных достижений науки, технологий и практического опыта с учетом последних редакций международных стандартов или их проектов.

ГОСТ 10243-75 «Сталь. Методы испытаний и оценки макроструктуры» включает следующие разделы:

- Общие положения»;
- Отбор проб и изготовление образцов;
- Оборудование, реактивы и режимы травления темплетов»;
- Оценка протравленных темплетов и изломов;
- Оформление результатов испытания;
- Приложения.

Макроскопический анализ - это изучение строения материалов невооруженным глазом или через лупу при небольших увеличениях (до 30 раз).

Методом макроанализа определяют:

- вид излома – вязкий, хрупкий, нафталинистый, камневидный и т.д.;
- нарушения сплошности металла – усадочную рыхлость, центральную пористость, подкорковые пузыри, межкристаллитные трещины, флокены в стали, дефекты сварки (непровары, газовые пузыри и т.п.);
- дендритное строение, зону транскристаллизации в литом металле;
- химическую неоднородность литого металла (ликвацию) и грубые включения;
- волокистую структуру деформированного металла.

Макроструктура может быть исследована непосредственно на поверхности заготовки или детали в изломе или, что делается чаще, на вырезанном образце (темплете) после его шлифования и травления специальным реактивом.

Наиболее простой способ макроанализа – исследование излома, по виду которого определяют характер разрушения (хрупкий, вязкий или смешанный). Вязкий излом обычно имеет матовую волокистую поверхность, а хрупкий – блестящую кристаллическую.

Образец (темплет) металла, поверхность которого подготовлена для макроанализа, называется макрошлифом.

Практические задания.

Вариант 1

1. Изучить ГОСТ 10243-75.
2. Составить технологическую карту отбора проб, изготовления продольных темплетов и травления макрошлифов из машиностроительных сталей:

Вид заготовки, деталей для отбора проб	Направление выреза темплетов из заготовок, деталей	Длина продольных темплетов	Обработка поверхности и темплетов перед травлением	Режим травления		
				Состав реактива	Температура раствора	Время травления

3. Используя фотографии макродефектов и эталонные шкалы, приведенные в Приложениях, оценить степень развития центральной пористости в баллах. Зарисовать дефект.

Вариант 2

1. Изучить ГОСТ 10243-75.
2. Составить технологическую карту отбора проб, изготовления поперечных темплетов и травления макрошлифов из машиностроительных сталей:

Вид заготовки, деталей для отбора проб	Направление выреза темплетов из заготовок, деталей	Высота поперечных темплетов	Обработка поверхности и темплетов перед травлением	Режим травления		
				Состав реактива	Температура раствора	Время травления

3. Используя фотографии макродефектов и эталонные шкалы, приведенные в Приложениях, оценить степень развития точечной неоднородности в баллах. Зарисовать дефект.

Содержание отчёта.

1. Название и цель работы.
2. Технологическая карта отбора проб, изготовления темплетов и травления макрошлифов
3. Зарисовка дефекта.
4. Оценка степени развития дефекта в баллах.

Контрольные вопросы.

1. Что такое макроанализ?
2. Для чего предназначен макроанализ?
3. Какие образцы используют для макроанализа?
4. Что можно определить по излому образца?
5. Какова технология глубокого травления макрошлифов?

Практическая работа № 2.

Построение диаграммы состояния сплава с использованием данных термического анализа.

Цель работы:

получить навыки построения диаграмм состояния.

В результате выполнения практической работы студент должен

уметь: построить диаграмму состояния сплава, используя данные термического анализа;

знать: строение и свойства материалов, методы их исследования; закономерности процессов структурообразования металлов и сплавов; основы теории сплавов.

Краткие теоретические сведения.

Обычно для построения диаграмм состояния пользуются результатами термического анализа, то есть строят кривые охлаждения и по остановкам и перегибам на этих кривых, вызванным тепловым эффектом превращений, определяют температуры превращений. Температуру сплава обычно измеряют с помощью термопары.

Для этого в печь 1 (рис.1) помещают тигелёк 2, в котором расплавляют исследуемый сплав 3. Затем в расплав погружают горячий спай 4 термопары 5 (защищённой фарфоровым или кварцевым колпачком 6) и выключают печь.

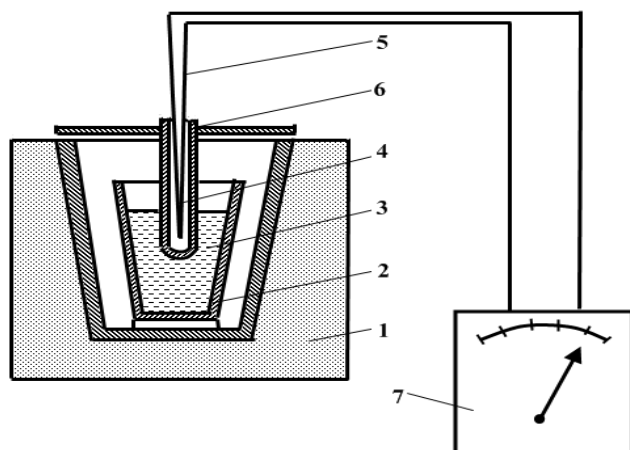


Рис.1 Схема установки для изучения процесса кристаллизации термическим методом.

Начинается охлаждение и температуру отмечают через определённые промежутки времени с помощью потенциометра 7. Появление изменений в агрегатном или фазовом состоянии характеризуется перегибами на кривой охлаждения сплава. Имея достаточное количество сплавов и определив в каждом сплаве температуры превращений, можно построить диаграмму состояния.

Рассмотрим построение диаграммы состояния на примере сплавов свинца и сурьмы. С использованием метода термического анализа были построены кривые охлаждения (рис.2).

Над кривыми охлаждения приведены составы соответствующих сплавов. Первая кривая относится к чистому свинцу (рис. 2 а). При температуре выше 327°C свинец находится в жидком состоянии. При 327°C происходит кристаллизация свинца и ниже 327°C свинец находится в твёрдом состоянии. Следовательно, на кривой охлаждения свинца отрезок 0-1 соответствует охлаждению жидкости, отрезок 1-1' - кристаллизации и 1'-2 – охлаждению твёрдого сплава.

Кривая на рисунке 2 б относится к сплаву, содержащему 95 % свинца и 5 % сурьмы. Кристаллизация начинается при температуре 300°C (точка 1) и происходит при понижении температуры на участке 1-2 с выделением кристаллов свинца, а затем при постоянной температуре 246°C (на участке 2-2') с выделением эвтектики, состоящей из чередующихся кристаллов свинца и

сурьмы. На участке 2'-3 происходит охлаждение твёрдого сплава.

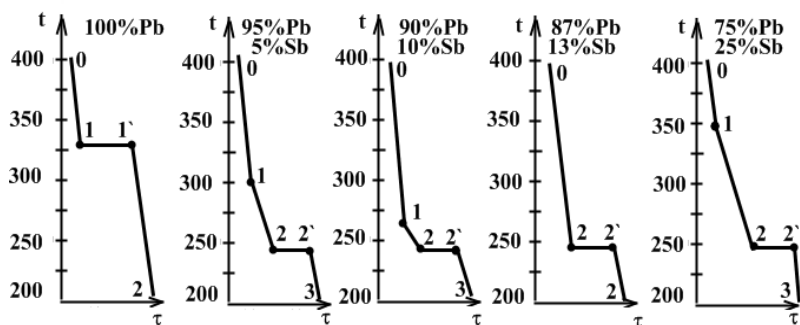


Рис.2 Кривые охлаждения сплавов Pb - Sb

У сплава, содержащего, 90% свинца и 10% сурьмы кристаллизация будет происходить так же, как и у предыдущего сплава, только она начнётся при более низкой температуре - 260 °C (рис. 2 в).

Кривая охлаждения сплава, содержащего 87% свинца и 13% сурьмы, показывает, что его кристаллизация происходит при постоянной температуре 246 °C, в результате чего одновременно кристаллизуются кристаллы свинца и сурьмы.

Сплав, содержащий 75% свинца и 25% сурьмы (рис. 2, д), начинает кристаллизоваться с температуры 340 °C и на участке 1-2 при понижении температуры до 246 °C из него выделяются кристаллы сурьмы, а затем кристаллизация происходит при постоянной температуре 246 °C с выделением эвтектики, состоящей из кристаллов свинца и сурьмы (участок кривой охлаждения 2-2').

Таким образом, анализ кривых охлаждения показывает, что у сплавов свинца и сурьмы происходит эвтектическая реакция, то есть одновременная кристаллизация из жидкости кристаллов свинца и сурьмы, при температуре 246 °C, что характеризуется горизонтальным участком на кривой охлаждения сплава. Это означает, что эвтектическая реакция происходит при постоянной температуре и концентрации компонентов в жидкости - 87% свинца и 13% сурьмы. У сплавов, содержащих менее 13% сурьмы (доэвтектоидных) вначале из жидкости выделяются избыточные кристаллы свинца, а у сплавов, содержащих более 13% сурьмы (заэвтектоидных) вначале из жидкости выделяются избыточные кристаллы сурьмы. Но у всех сплавов кристаллизация заканчивается эвтектоидной реакцией.

Следовательно, используя кривые охлаждения сплавов, можно определить температуры начала и конца кристаллизации. Точки начала кристаллизации называются точками ликвидус, а точки конца кристаллизации – точками солидус.

Диаграмма состояния сплавов строится в координатах температура - концентрация компонентов сплава (рис.3).

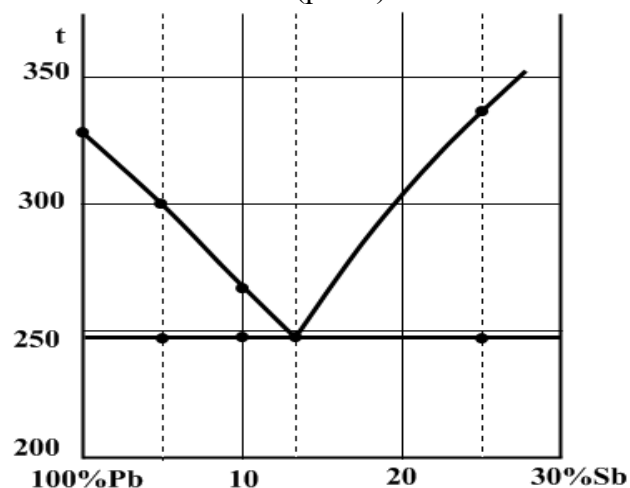


Рис.3 Диаграмма состояния Pb - Sb

Крайние точки этой системы координат соответствуют чистым компонентам (100 % свинца и 100 % сурьмы). Каждая точка оси концентраций соответствует сплаву определённого состава. На оси координат отмечают концентрацию только одного компонента (в данном случае сурьмы), а концентрация второго компонента соответственно равна 100% минус концентрация сурьмы.

Диаграмма состояния позволяет определить температуры критических точек любого сплава данного состава, структуру твёрдого сплава, а также решить вопрос о том, можно ли добиться изменения структуры сплава в результате термической обработки. Поскольку технологические и эксплуатационные свойства сплавов тесно связаны с их микроструктурой, то диаграммы состояния сплавов имеют большое значение для практического металловедения.

Вид диаграммы состояния определяется характером взаимодействия компонентов сплава между собой.

Существуют следующие типы диаграмм фазового равновесия:

1. Диаграмма состояния первого рода (рис.4) характерна для сплавов, компоненты которых неограниченно растворимы друг в друге в жидком состоянии, не растворимы в твёрдом состоянии и не образуют химических соединений.

Линия CED – ликвидус, MN – солидус. При охлаждении линия CE показывает начало выделения кристаллов А, линия ED – кристаллов В. На линии MN из жидкости одновременно выделяются кристаллы А и В (эвтектическая реакция).

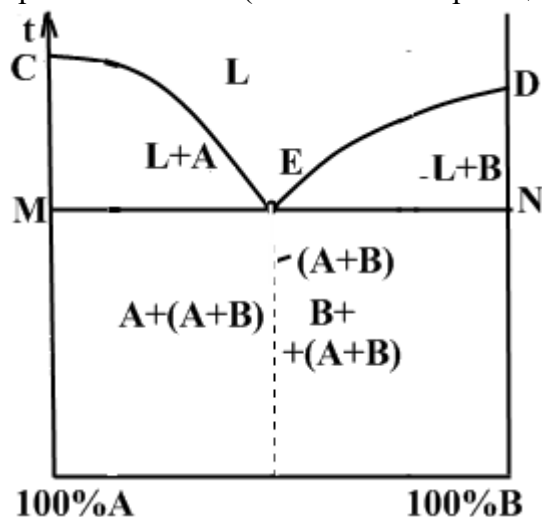


Рис.4. Диаграмма состояния первого рода.

2. Диаграмма состояния второго рода (рис. 5) характерна для сплавов, компоненты которых неограниченно растворимы в жидком и твёрдом состоянии и не образуют химических соединений.

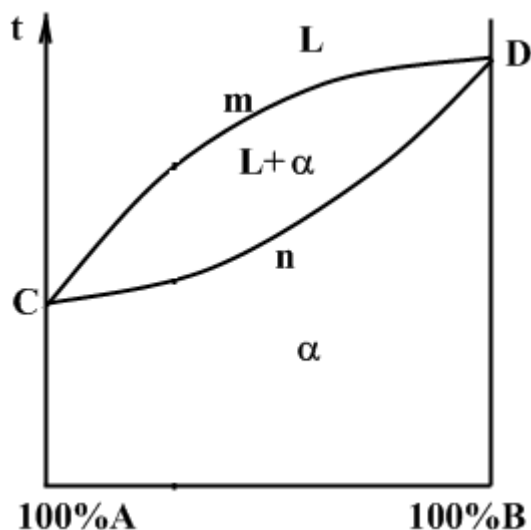


Рис.5. Диаграмма состояния второго рода

В этом случае возможно существование только двух фаз – жидкого расплава L и кристаллов твёрдого раствора α . Линия AmB является линией ликвидус, AnB – солидус.

Диаграмма состояния третьего рода характерна для сплавов, компоненты которых неограниченно растворимы в жидком состоянии, ограниченно растворимы в твёрдом состоянии и не образуют химических соединений. В таких сплавах может происходить эвтектическая $L_E \leftrightarrow \alpha + \beta$ (рис.6) и перитектическая реакции $L_P + \beta \leftrightarrow \alpha$ (рис.7).

В этом случае в сплавах образуются следующие фазы: жидкий расплав, кристаллы твёрдых растворов α и β .

На диаграмме с эвтектикой линия CED – ликвидус, ADCB – солидус (рис. 6).

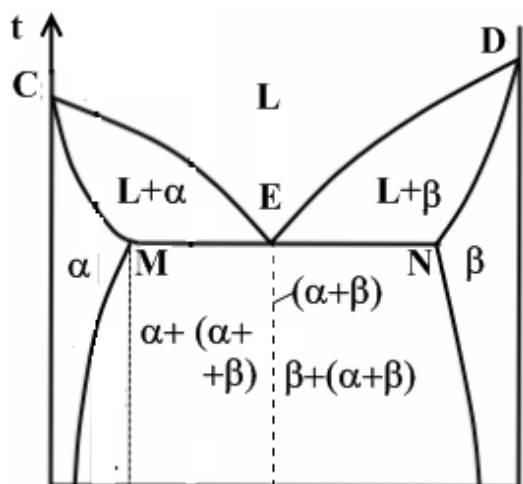


Рис. 6. Диаграмма состояния третьего рода с эвтектикой

На диаграмме с перитектикой линия CED – ликвидус, CMND – солидус (рис.7).

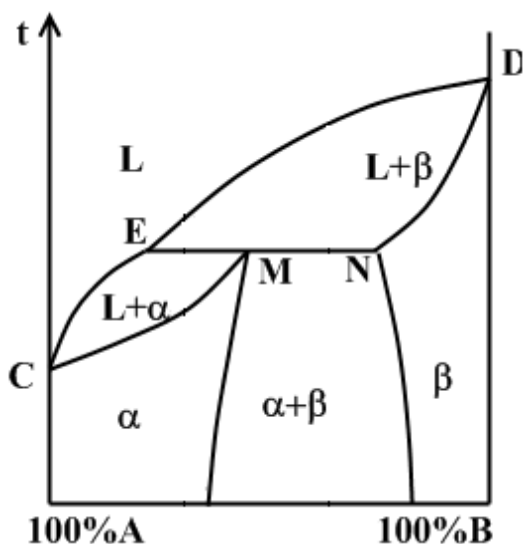


Рис. 7. Диаграмма состояния третьего рода с перитектикой

Диаграмма состояния четвёртого рода характерна для сплавов, компоненты которых неограниченно растворимы в жидком состоянии и образуют химическое соединение (рис. 8) или твёрдый раствор на базе химического соединения (рис.9).

Если компоненты сплава нерастворимы в твёрдом состоянии (рис.8), то образуются жидкий расплав, кристаллы компонентов A и B и кристаллы химического соединения A_nB_m . В этом случае в сплавах в зависимости от состава могут протекать эвтектические реакции:

$L \leftrightarrow A + A_nB_m$ (линия CED)
 $L \leftrightarrow A_nB_m + B$ (линия DE₁F)

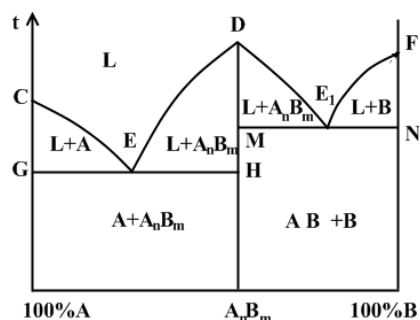


Рис.8 Диаграмма состояния 4 рода с устойчивым химическим соединением

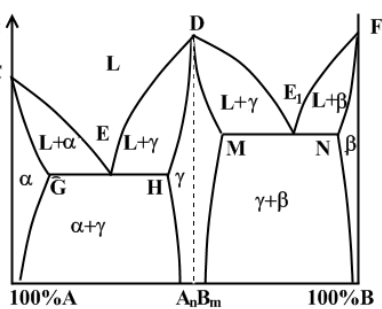


Рис.9. Диаграмма состояния 4 рода с твёрдым раствором на базе химического соединения

Если компоненты сплава ограниченно растворимы в твёрдом состоянии (рис.9), то образуются жидкий расплав, кристаллы твёрдых растворов α и β , кристаллы твёрдого раствора на базе химического соединения γ . В этих случаях в зависимости от состава сплава могут протекать эвтектические реакции:

$L \leftrightarrow \alpha + \gamma$ (линия CED)
 $L \leftrightarrow \gamma + \beta$ (линия DE₁F)

Как известно, вид диаграммы состояния зависит от характера взаимодействия компонентов в нём, а, следовательно, между видом диаграммы состояния и свойствами сплава существует определённая связь (рис.10).

Метод изучения изменений свойств в зависимости от изменения состава и построения диаграммы состав-свойства был положен Курнаковым Н.С. в основу разработанного им физико-химического анализа сплавов.

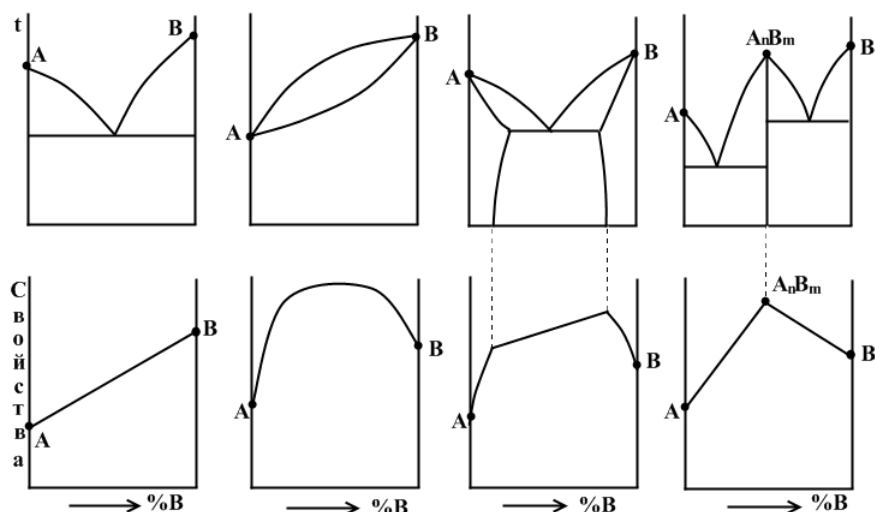


Рис.10. Связь между диаграммой состояния и некоторыми свойствами сплавов

Практические задания.

Вариант 1

По данным термического анализа - кривым охлаждения (рис. 11) - постройте диаграмму состояния сплава, состоящего из компонентов А и В, имеющих неограниченную растворимость в жидком и твердом состоянии и не образующих химического соединения.

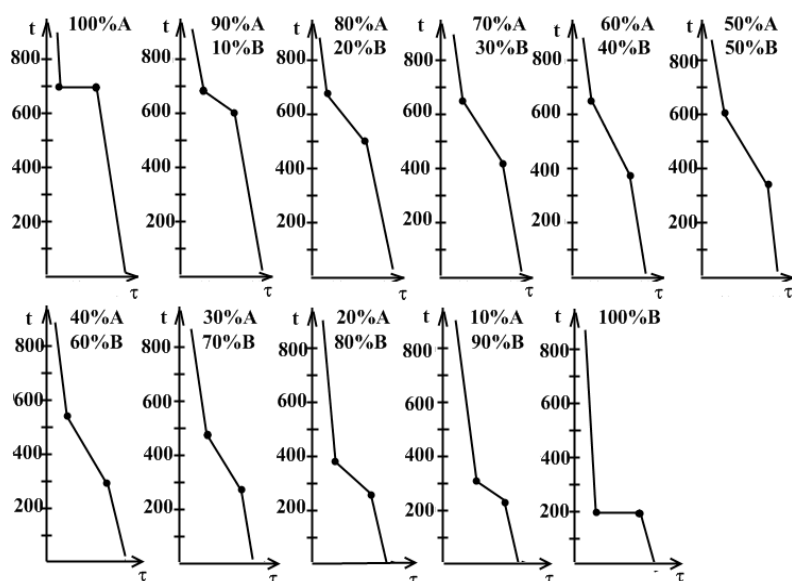


Рис.11. Кривые охлаждения сплавов

Вариант 2

По данным термического анализа - кривым охлаждения (рис.12) - постройте диаграмму состояния сплава, состоящего из компонентов А и В, имеющих неограниченную растворимость в жидком состоянии, ограниченную растворимость в твердом состоянии и не образующих химического соединения. В сплаве происходит эвтектическая реакция при $t=450^\circ\text{C}$. Предельная растворимость компонента В в компоненте А составляет 10 % при $t=450^\circ\text{C}$ и при понижении температуры до 0°C уменьшается до 5 %. Предельная растворимость компонента А в компоненте В составляет 20 % при $t=450^\circ\text{C}$ и при понижении температуры до 0°C уменьшается до 5 %.

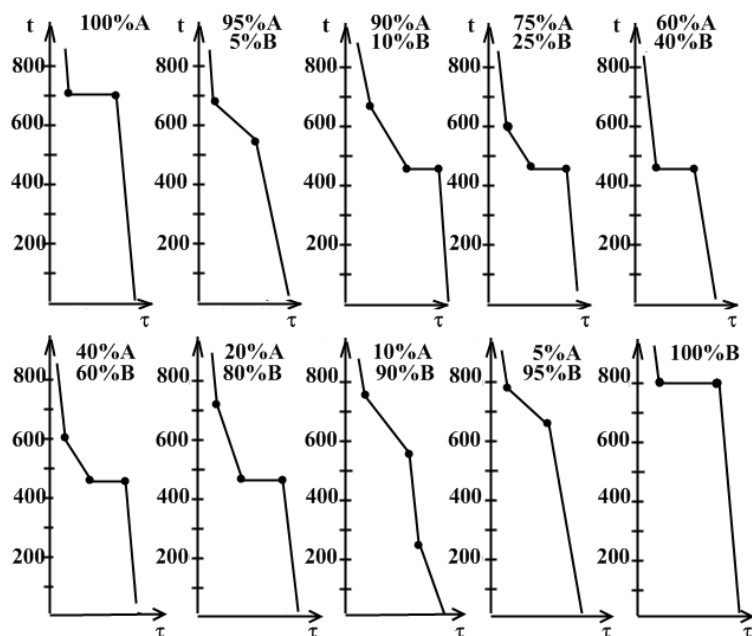


Рис.12. Кривые охлаждения сплавов

Вариант 3

По данным термического анализа - кривым охлаждения (рис.13) - постройте диаграмму состояния сплава, состоящего из компонентов А и В, имеющих неограниченную растворимость в жидком состоянии, ограниченную растворимость в твердом состоянии и не образующих

химического соединения. В сплаве происходит перитектическая реакция при $t=350\text{ }^{\circ}\text{C}$. Предельная растворимость компонента В в компоненте А составляет 10 % при $t=350\text{ }^{\circ}\text{C}$ и при понижении температуры до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ уменьшается до 5 %. Предельная растворимость компонента А в компоненте В составляет 55 % при $t=350\text{ }^{\circ}\text{C}$ и при понижении температуры до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ уменьшается до 50 %.

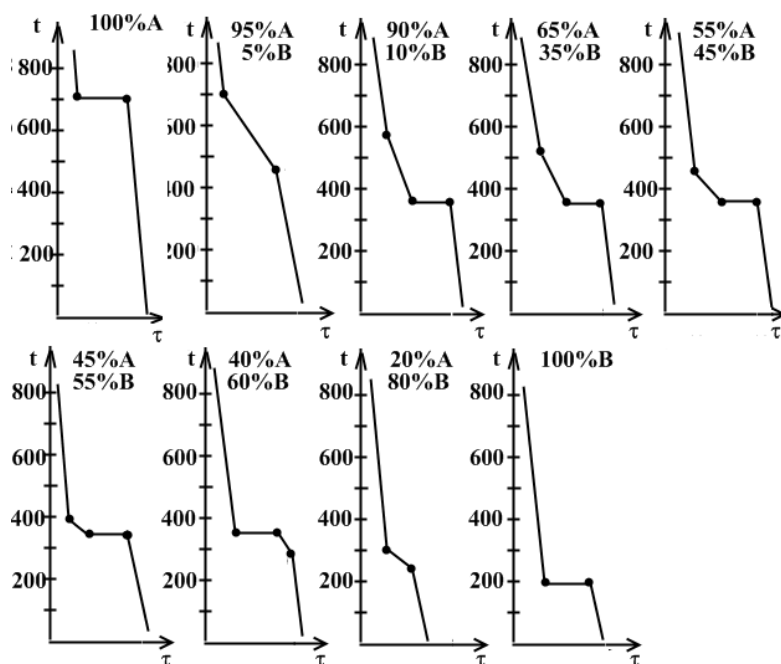


Рис.13. Кривые охлаждения сплавов

Пример выполнения практической работы.

Для построения диаграммы состояния Pb – Sb используют кривые охлаждения нескольких сплавов свинца и сурьмы (рис.2). По этим кривым определяют температуры критических точек, в данном случае ликвидус и солидус и заносят их в таблицу.

Таблица 1

Критические точки сплавов свинца и сурьмы.

№ п/п	Сплав	$t_{\text{л}}, ^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{к}}, ^{\circ}\text{C}$
1	100 % Pb	327	327
2	95 % Pb + 5 % Sb	300	246
3	90 % Pb + 10% Sb	260	246
4	87 % Pb + 13 % Sb	246	246
5	75 % Pb + 25 % Sb	340	246

Их наносят на систему координат температура-концентрация компонентов (рис.14).

На построенную систему координат наносят точки ликвидус и солидус для каждого сплава (рис. 15).

Затем точки ликвидус соединяют одной линией, а точки солидус другой линией, в результате чего получают диаграмму состояния сплавов, состоящих из свинца и сурьмы (рис. 16).

Линию начала кристаллизации называют линией ликвидус, а окончания кристаллизации – солидус. Горизонтальная линия на диаграмме показывает, что кристаллизация сплавов заканчивается эвтектидной реакцией, происходящей при температуре $246\text{ }^{\circ}\text{C}$. Таким образом, получилась диаграмма состояния первого рода. Компоненты этих сплавов взаимно нерастворимы в твёрдом состоянии и не образуют химических соединений, но неограниченно растворимы в жидком состоянии.

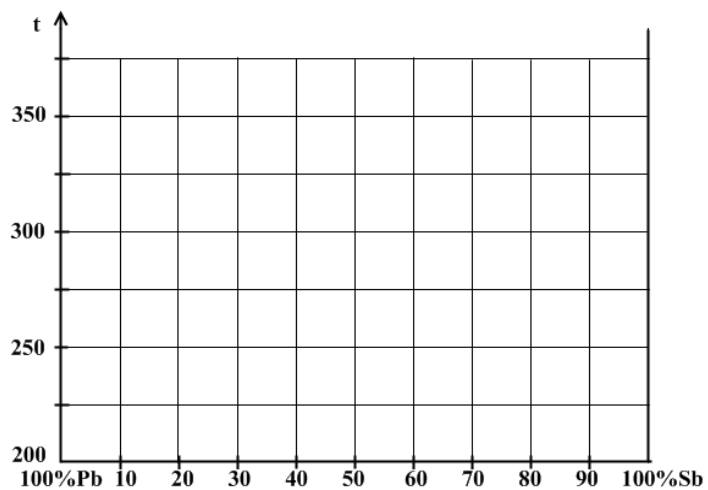


Рис.14. Построение системы координат

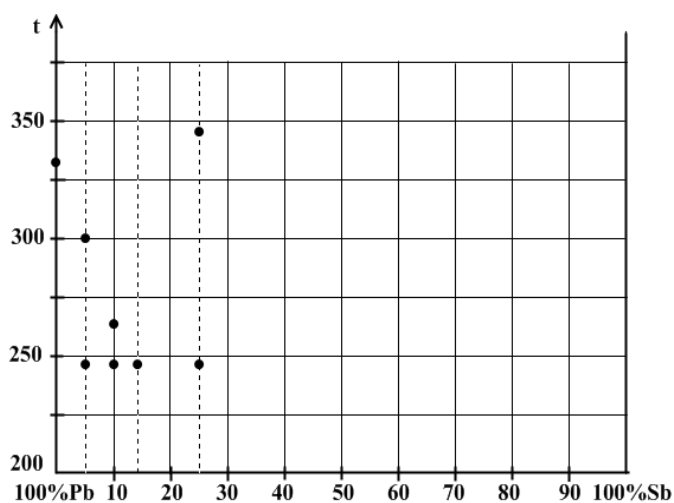


Рис.15. Построение критических точек сплавов Pb-Sb

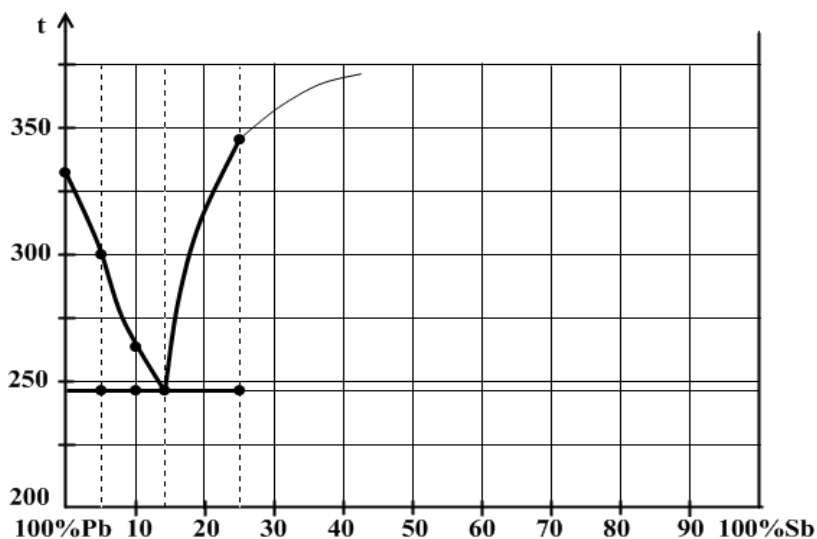


рис.16. Построение линий диаграммы состояния Pb - Sb

Порядок выполнения практической работы.

1. Записать название и цель работы.

2. Начертить кривые охлаждения сплавов в соответствии с заданием.
3. Вынести точки ликвидус и солидус данного сплава в таблицу.
4. Построить систему координат (рис. 3).
5. Нанести точки ликвидус и солидус для каждого сплава на систему координат. Для упрощения точки ликвидус и солидус наносить разным цветом.
6. Соединить точки ликвидус одной линией, а точки солидус другой линией.
7. При необходимости провести другие линии диаграммы, например, линии ограничивающие растворимость компонентов друг в друге в твёрдом состоянии.
8. Определить к какому роду относится построенная диаграмма состояния и написать как взаимодействуют компоненты сплава между собой.
9. Записать формулу эвтектической или перитектической реакции, если она происходит в данных сплавах.

Содержание отчёта.

6. Название и цель работы.
7. Кривые охлаждения сплавов.
8. Таблица с координатами критических точек.
9. Диаграмма состояния.
10. Описание диаграммы.

Контрольные вопросы.

1. Что такое сплав?
2. Какие виды фаз образуются в металлических сплавах?
3. В каком случае образуется механическая смесь кристаллов чистых компонентов?
4. Как образуется химическое соединение?
5. Как образуется твёрдый раствор?
6. В чём состоит отличие химических соединений от твёрдых растворов?
7. Что такое линия ликвидус?
8. Что такое линия солидус?
9. Что такое эвтектическая реакция?
10. Чем отличается структура доэвтектического сплава от структуры заэвтектического сплава?

Практическая работа № 3.
Анализ фазовых превращений по диаграмме состояния «железо-углерод»

Цель работы:

получить навыки анализа фазовых превращений в железоуглеродистых сплавах.

В результате выполнения практической работы студент должен
уметь: анализировать фазовые и структурные превращения в сплавах по диаграмме состояния;
знать: закономерности процессов структурообразования металлов и сплавов; основы теории сплавов.

Краткие теоретические сведения.

Диаграмма состояния «железо-углерод» («железо-цементит») характеризует особенности процесса кристаллизации, фазовый состав и микроструктуру железоуглеродистых сплавов – сталей и чугунов. Она построена в координатах «температура – концентрация компонентов» (рис.17).

Железо – это металл, имеющий полиморфные превращения при температурах 911°C и 1392°C. Полиморфные модификации железа принято обозначать Fe α (ОЦК-решётка) и Fe γ (ГЦК-решётка). При температуре 911°C Fe α $\leftrightarrow$ Fe γ , а при температуре 1392 °C Fe γ $\leftrightarrow$ Fe α . Кроме того, при температуре 768 °C (точка Кюри) происходит магнитное превращение железа. Температура плавления железа - 1539 °C.

Углерод способен растворяться в Fe α и Fe γ , образуя твёрдые растворы - феррит и аустенит, а также образовывать с железом химическое соединение – цементит.

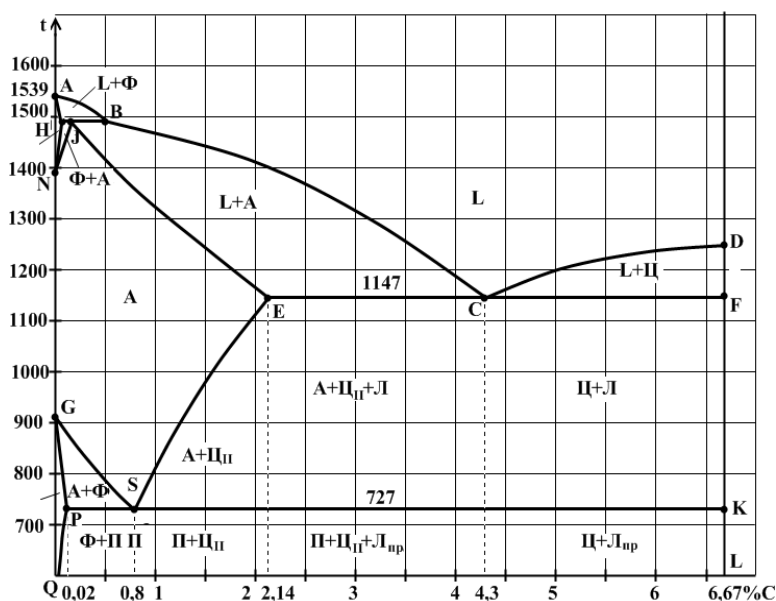


Рис.17 Диаграмма состояния «железо-углерод»

Таким образом, в железоуглеродистых сплавах образуются следующие фазы: жидкий расплав (жидкость), феррит, аустенит, цементит.

Жидкость принято обозначать Ж или L (от слова «ликвидус»).

Феррит- это твёрдый раствор углерода в Fe α , максимальная концентрация углерода в котором составляет 0,02% (у низкотемпературного Fe α). Его принято обозначать Ф, α или Fe α . На диаграмме состояния феррит существует в областях АНН и GРQ. При понижении температуры растворимость углерода в феррите понижается в соответствии с линией RQ.

Аустенит – это твёрдый раствор углерода в Fe γ , максимальная концентрация углерода в котором составляет 2,14%. Его принято обозначать А, γ или Fe γ . На диаграмме состояния аустенит существует в области NJESG. При понижении температуры растворимость углерода в аустените понижается в соответствии с линией ES.

Цементит – это химическое соединение железа и углерода Fe_3C , имеющее постоянную концентрацию углерода - 6,67%. На диаграмме ему соответствует линия DL.

ABCD - линия ликвидус, АНJECF – линия солидус.

Координаты точек диаграммы приведены в таблице 2.

Таблица 2. Точки диаграммы «железо-цементит»

Обозначение точки	Температура, °C	Концентрация углерода, %
A	1539	0
B	1499	0.5
H	1499	0.1
J	1499	0.16
N	1392	0
E	1147	2.14
C	1147	4.3
F	1147	6.67
D	1250	6.67
G	911	0
P	727	0.02
S	727	0.8
K	727	6.67
Q	600	0.006
L	600	6.67

У сплавов, содержащих более 2,14% углерода (чугунов), кристаллизация заканчивается эвтектической реакцией, при которой из жидкости, содержащей 4,3% углерода, одновременно кристаллизуются аустенит и цементит (ледебурит): $\text{Lc} \leftrightarrow \text{AE} + \text{Ц}$. Эвтектическая реакция происходит при температуре 1147 °C и на диаграмме ей соответствует линия ECF. Структура ледебурита представлена на рисунке 19 б.

Так как железо склонно к полиморфным превращениям, то и его твёрдые растворы также претерпевают превращения, которые происходят в виде перитектической и эвтектоидной реакций.

Перитектическая реакция происходит при температуре 1499 °C и ей на диаграмме соответствует линия HJB. Она заключается во взаимодействии жидкости, содержащей 0,5% углерода, и кристаллов феррита (0,1% C) с образованием аустенита (0,16% C): $\text{Lв} + \text{Фн} \leftrightarrow \text{Aj}$

Эвтектоидная реакция происходит при температуре 727 °C и ей на диаграмме соответствует линия PSK. Она заключается в распаде аустенита, содержащего 0,8 % C на феррит (0,02 % C) и цементит (перлит): $\text{AS} \leftrightarrow \text{ФP} + \text{Ц}$. Структура перлита представлена на рисунке 29 а.

В зависимости от содержания углерода, а следовательно и структуры в равновесном состоянии железоуглеродистые сплавы принято классифицировать на следующие группы:

1. техническое железо – сплавы железа и углерода, содержащие менее 0,02 % C и состоящие из феррита и третичного цементита (рис.18 а);
2. стали – сплавы железа и углерода с содержанием углерода 0,02-2,14 %;
 - а) доэвтектоидные стали содержат более 0,02, но менее 0,8 % C и состоят из феррита и перлита (рис.18 б);
 - б) эвтектоидная сталь содержит 0,8 % C и имеет структуру пластинчатого перлита (рис.18 в);

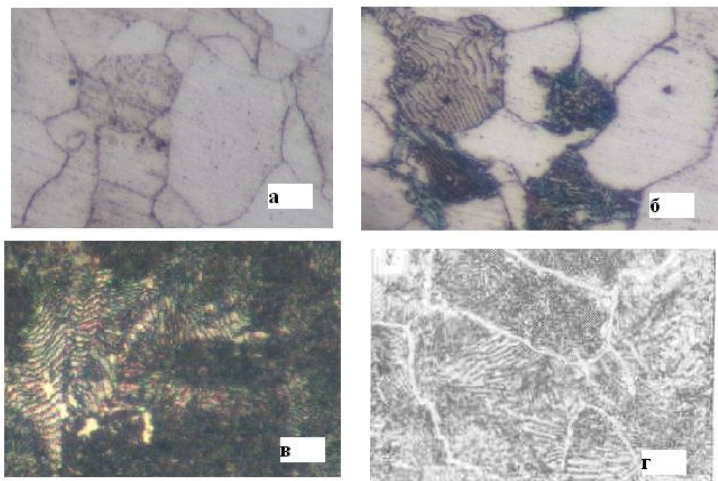


Рис.18 Микроструктуры технического железа и сталей.

в) заэвтектоидные стали содержат более 0,8 % до 2,14 % С и состоят из перлита и вторичного цементита (рис.18 г);

3. чугуны – сплавы железа и углерода с содержанием углерода более 2,14 %;

а) доэвтектические чугуны содержат более 2,14, но менее 4,3 % С и состоят из перлита, вторичного цементита и ледебурита (рис.19 а);

б) эвтектический чугун содержит 4,3 % С и имеет структуру ледебурита (рис.19 б);

в) заэвтектические чугуны содержат более 4,3 до 6,67 % С и состоят из первичного цементита и ледебурита (рис.19 в).

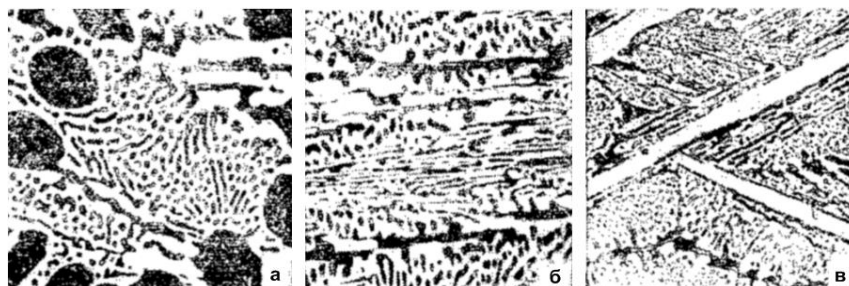


Рис.19 Структуры белых чугунов

Практические задания.

Вариант 1

Построить кривую охлаждения и описать превращения для сплава, содержащего 5 % углерода. Определить состав фаз этого сплава и их количественное соотношение при температуре 1170 °С. Схематично показать изменение структуры сплава при охлаждении.

Вариант 2

Построить кривую охлаждения и описать превращения для сплава, содержащего 0,6 % углерода. Определить состав фаз этого сплава и их количественное соотношение при температуре 1450 °С. Схематично показать изменение структуры сплава при охлаждении.

Вариант 3

Построить кривую охлаждения и описать превращения для сплава, содержащего 0,3 % углерода. Определить состав фаз этого сплава и их количественное соотношение при температуре 750 °С. Схематично показать изменение структуры сплава при охлаждении.

Вариант 4

Построить кривую охлаждения и описать превращения для сплава, содержащего 1,5 % углерода. Определить состав фаз этого сплава и их количественное соотношение при температуре 1350 °С. Схематично показать изменение структуры сплава при охлаждении.

Вариант 5

Построить кривую охлаждения и описать превращения для сплава, содержащего 0,8 % углерода. Определить состав фаз этого сплава и их количественное соотношение при температуре 1400 °С. Схематично показать изменение структуры сплава при охлаждении.

Вариант 6

Построить кривую охлаждения и описать превращения для сплава, содержащего 2,14 % углерода. Определить состав фаз этого сплава и их количественное соотношение при температуре 1200 °С. Схематично показать изменение структуры сплава при охлаждении.

Пример выполнения практической работы.

Построим кривые охлаждения и рассмотрим фазовые превращения, происходящие при охлаждении сплава, содержащего 3,5 % С, и определим состав и количественное соотношение фаз в этом сплаве при температуре 1200 °С. Для этого на диаграмме состояния «железо-цементит» необходимо провести вертикальную линию, соответствующую содержанию углерода 3,5 % и обозначить точки пересечения этой линии с линиями диаграммы цифрами 1, 2, 3, 4 (рис.20).

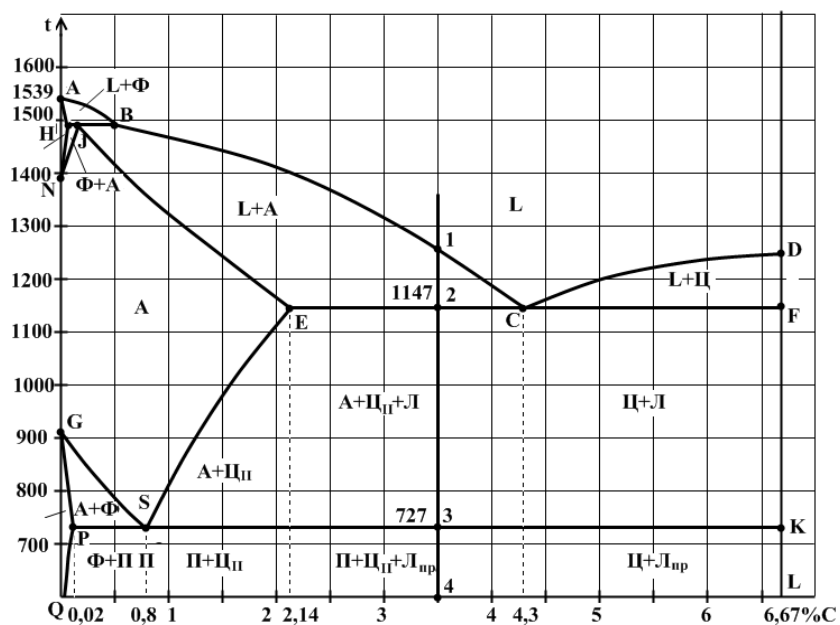


Рис.20. Диаграмма состояния железо-углерод с вертикальной линией, соответствующей заданному сплаву

Проецируем эти точки на расположенную рядом систему координат «температура-время» и строим кривую охлаждения (рис.21-26) . При пересечении горизонтальных линий на диаграмме необходимо соответственно на кривой охлаждения показывать горизонтальную площадку, так как это будет показывать, что в сплаве происходит перитектическая, эвтектическая или эвтектоидная реакция при постоянной температуре. Интервалы по оси абсцисс показываются произвольно.

Над каждым участком кривой охлаждения необходимо кратко описать превращения, происходящие в сплаве (рис. 21-26).

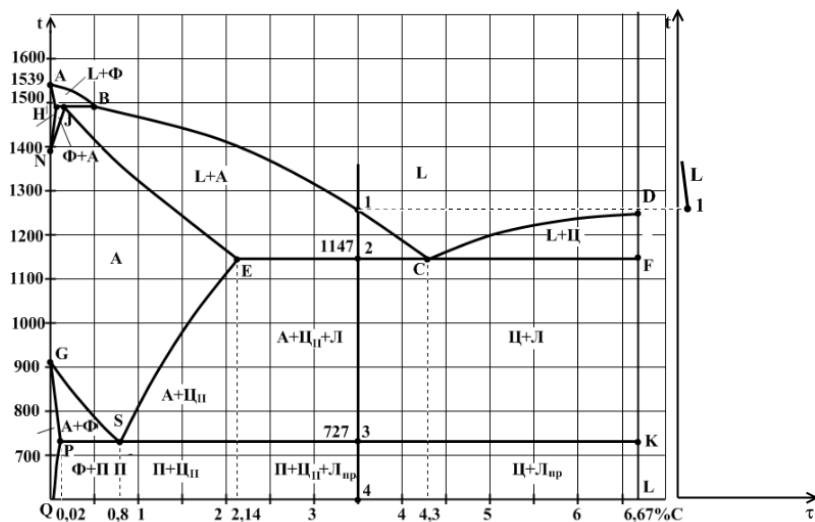


Рис.21. Построение участка кривой, соответствующего охлаждению жидкости

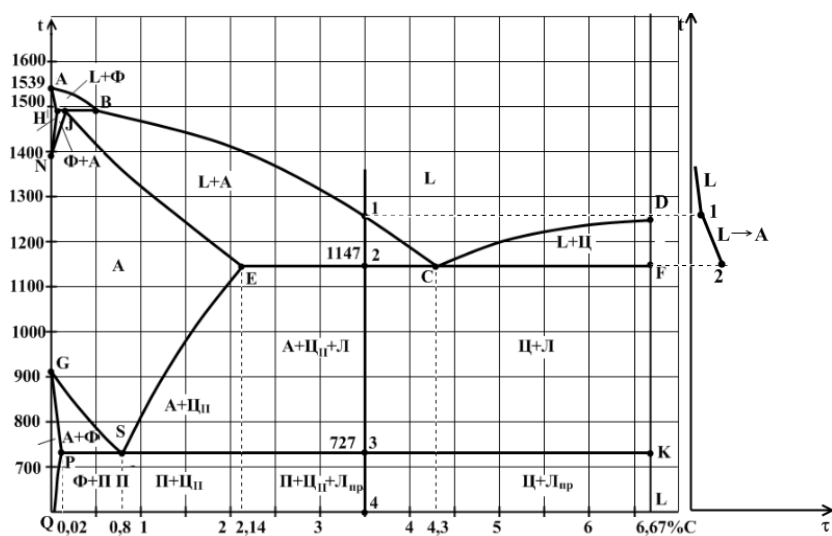


Рис.22. Построение участка кривой, соответствующего выделению аустенита из жидкости

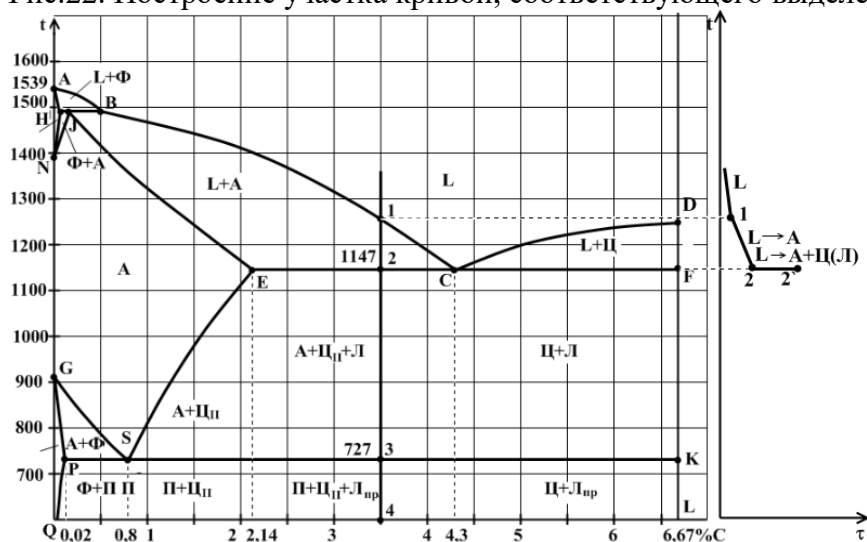


Рис.23. Построение участка кривой, соответствующего эвтектической реакции

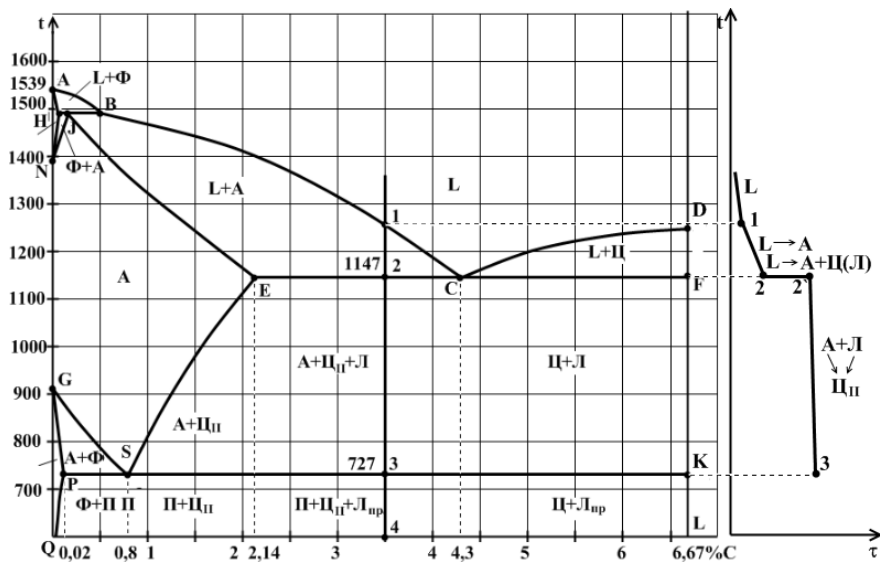


Рис.24. Построение участка кривой, соответствующего процессу выделения вторичного цементита из аустенита

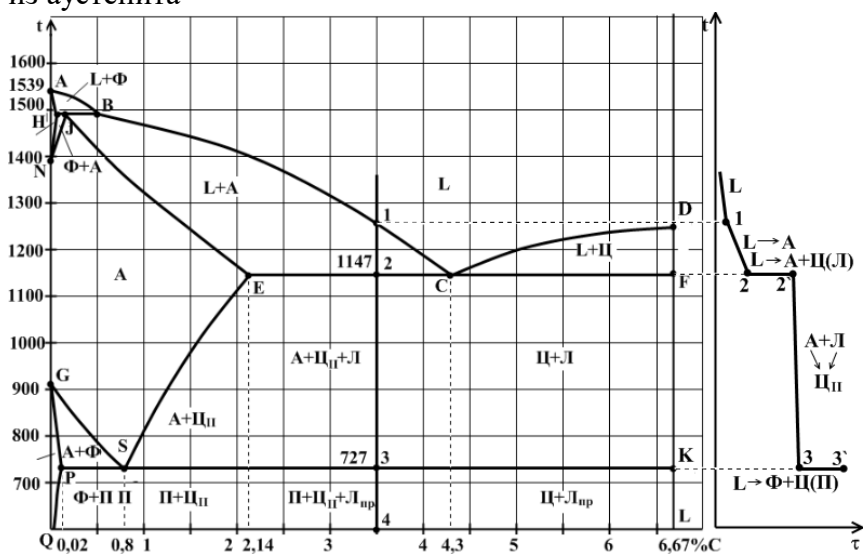


Рис.25. Построение участка кривой, соответствующего эвтектоидной реакции

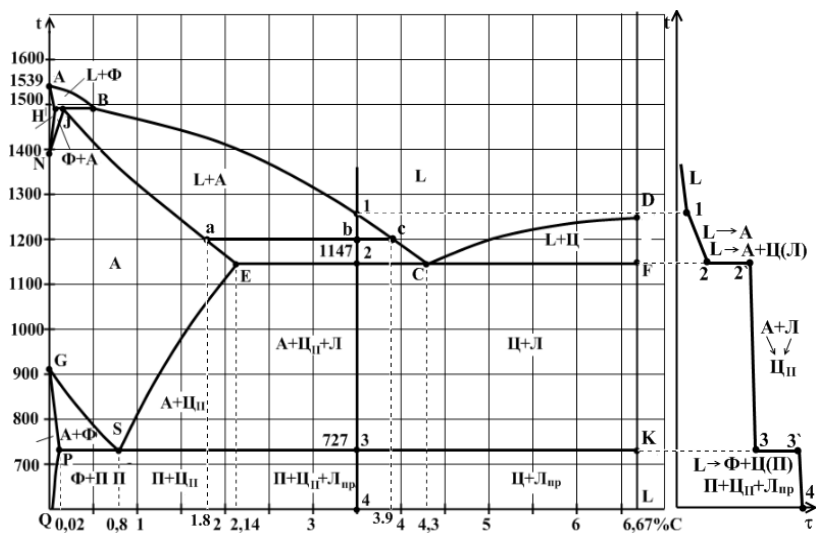


Рис.26. Построение участка кривой, соответствующего охлаждению твёрдого сплава

Описание превращений необходимо производить следующим образом.
До точки 1 происходит охлаждение жидкости ($c=k-f+1=2-1+1=2$). Этому процессу соответствует

наклонный участок кривой охлаждения (рис.21).

При температуре точки 1 начинается процесс кристаллизации. На участке 1-2 из жидкости кристаллизуется аустенит ($c=k-f+1=2-2+1=1$). В связи с выделением тепла при кристаллизации охлаждение сплава замедляется, что характеризуется изменением наклона кривой охлаждения (рис. 22).

По достижении температуры точки 2 (1147°C) происходит эвтектическая реакция, при которой из оставшейся жидкости образуются кристаллы аустенита и цементита (ледебурит): $L \leftrightarrow A + \text{Ц}$. Так как при этом в сплаве находятся три фазы – жидкость, феррит и аустенит, то это состояние невариантного равновесия ($c=k-f+1=2-3+1=0$). Этому процессу соответствует горизонтальная прямая 2-2' (рис.23).

На участке 2'-3 при охлаждении в результате уменьшения концентрации углерода из аустенита выделяется цементит вторичный ($c=k-f+1=2-2+1=1$), что характеризуется изменением наклона кривой охлаждения (рис. 24).

При температуре точки 3 (727°C) в сплаве происходит эвтектоидная реакция, при которой аустенит распадается на феррит и цементит: $AS \leftrightarrow \text{ФР} + \text{Ц}$. Структура, состоящая из феррита и цементита, называется перлит. Также происходит превращение аустенита, содержащегося в ледебурите. В результате чего образуется ледебурит превращённый ($\text{Л}_{\text{пр}}$), состоящий из перлита и цементита. Так как при этом в сплаве находятся три фазы – аустенит, феррит и цементит, то это состояние невариантного равновесия ($c=k-f+1=2-3+1=0$). Этому процессу на кривой охлаждения соответствует горизонтальный участок (рис.25).

На участке 3'-4 происходит охлаждение сплава (рис.26), состоящего из перлита, цементита вторичного и ледебурита превращённого ($c=k-f+1=2-2+1=1$). Этот сплав является доэвтектическим чугуном.

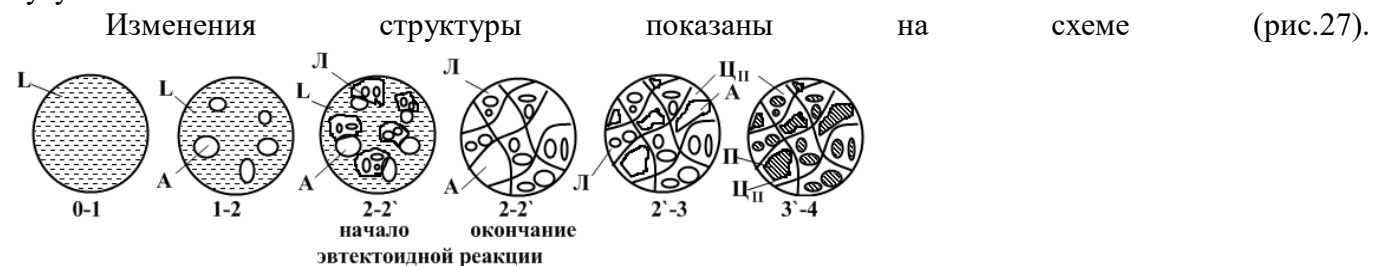


Рис. 27. Схема изменения структуры сплава, содержащего 3,5 % С, при охлаждении

Согласно правилу отрезков состав фаз данного сплава при температуре 1200°C (рис.37):

L (жидкость) - 3,9 % С + 96,1 % Fe

A (аустенит) – 1,8 % С + 98,2 % Fe

Количественное соотношение фаз будет составлять:

$$L = ab/ac \cdot 100\% = (3.9 - 1.8) / (3.9 - 1.8) \cdot 100\% = 1.7 / 2.1 = 81\%$$

$$A = bc/ac \cdot 100\% = (3.9 - 3.5) / (3.9 - 1.8) \cdot 100\% = 0.4 / 2.1 = 19\%$$

Порядок выполнения практической работы.

1. Записать название и цель работы.
2. Начертить диаграмму состояния «железо-углерод».
3. Построить кривую охлаждения для заданного сплава. На каждом участке кривой охлаждения кратко описать превращения.
4. Подробно описать превращения, происходящие в сплаве при охлаждении и определить число степеней свободы на каждом участке кривой охлаждения с использованием правила фаз (закона Гиббса).
5. Определить окончательную структуру сплава после затвердевания.
6. Определить состав фаз и их количественное соотношение в соответствии с заданием, используя правило отрезков.

Содержание отчёта.

1. Название и цель работы.
2. Диаграмма состояния «железо-углерод» с построенной кривой охлаждения.
3. Описание фазовых превращений с использованием правила фаз.
4. Состав фаз и их количественное соотношение при заданной температуре.

Контрольные вопросы.

1. Что такое сталь?
2. Что такое чугун?
3. На какие группы делятся стали по структуре в равновесном состоянии?
4. На какие группы делятся чугуны по структуре в равновесном состоянии?
5. Что такое феррит?
6. Что такое аустенит?
7. Что такое цементит?
8. Что такое перлит?
9. Что такое ледебурит?
10. При каких температурах происходят эвтектическая и эвтектоидная реакции в железоуглеродистых сплавах?

Практическая работа № 4

Определение вида и состава стали по её марке.

Цель работы:

получить навыки определения вида и состава стали по её марке.

В результате выполнения практической работы студент должен уметь: распознавать и классифицировать конструкционные и сырьевые материалы - по внешнему виду, происхождению, свойствам; определять виды конструкционных материалов по их марке, назначение, средний химический состав;

знать: классификацию материалов, металлов и сплавов, маркировку, области их применения.

Краткие теоретические сведения.

Стали

Стали принято классифицировать по назначению на конструкционные и инструментальные, по химическому составу – на углеродистые, нелегированные и легированные.

Углеродистые стали обыкновенного качества принято маркируют Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6. «Ст» в начале марки обозначает сталь. Цифры обозначают номер марки стали. Степень раскисления стали обозначают в конце марки буквами: сп – спокойная, пс – полуспокойная, кп – кипящая сталь. Например, Ст1кп – сталь углеродистая обыкновенного качества кипящая.

Нелегированные конструкционные стали делятся на качественные и специальные. Нелегированные конструкционные качественные стали маркируют цифрами 05, 08, 10, 11, 15, 18, 20, которые показывают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Например, сталь 10 – сталь нелегированная конструкционная качественная, С- 0,1% .

Нелегированные конструкционные специальные стали выпускают следующих марок: 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, а также с повышенным содержанием марганца, поэтому в марке стали присутствует буква «Г»: 15Г, 20Г, 25Г, 30Г, 35Г, 40Г, 45Г, 50Г, 10Г2, 30Г2, 35Г2, 40Г2, 45Г2, 50Г2. Например, сталь 10Г2 – сталь нелегированная конструкционная специальная, С-0,1%, Мп – 2%.

Нелегированные инструментальные стали маркируют У7, У8, У9, У10, У12, где цифры показывают среднее содержание углерода в десятых долях процента. Например, У12 – сталь нелегированная инструментальная, С-0,12%.

Легированные стали кроме обычных компонентов содержат легирующие элементы для улучшения свойств. Легирующие элементы обозначают заглавными буквами русского алфавита:

- А - N (азот)
- Б - Nb (ниобий)
- В - W (вольфрам)
- Г - Mn (марганец)
- Д - Cu (медь)
- Е - Se (селен)
- К - Co (кобальт)
- М - Mo (молибден)
- Н - Ni (никель)
- П - P (фосфор)
- Р - B (бор)
- С - Si (кремний)
- Т - Ti (титан)
- Ф - V (ванадий)
- Х - Cr (хром)
- Ц - Zr (цирконий)
- Ч - редкоземельный металл
- Ю - Al (алюминий)

В начале марки конструкционной легированной стали находятся две или три цифры,

показывающие среднее содержание углерода в сотых долях процента. Затем следуют буквы, обозначающие легирующие элементы. Цифры после букв показывают содержание данного легирующего элемента в целых процентах. Если цифры после буквы нет, то содержание этого легирующего элемента менее 1,5%. Например, 12X18H10T – сталь конструкционная легированная, содержащая 0,12% С, 18% Cr, 10% Ni, Ti до 1,5% .

В начале марки инструментальной легированной стали находится одна цифра, показывающая среднее содержание углерода в десятых долях процента или цифр нет, что показывает содержание углерода более 1 %. Содержание легирующих элементов определяется так же, как и в легированных сталях. Например, 9XC – сталь инструментальная легированная, содержащая 0,9% С, Cr до 1,5%, Si до 1,5%.

Буквы в конце марки стали означают: А – сталь высококачественная, Л – литейная, Ш – особовысококачественная сталь.

Буквы в начале марки стали означают: А – автоматная сталь, Е – магнитнотвердая, Р – быстрорежущая сталь, Ш – шарикоподшипниковая сталь.

Практические задания.

Определить вид и средний химический состав следующих марок материалов:

Вариант 1.	Вариант 2.	Вариант 3.
10X17H13M3T	07X21Г7АН5	55
08кп	Ст3сп	25ХГСА
7ХГ2ВМ	У12А	5Х3В3МФС
У10	4Х5МФС	У11А
Х	70	Ст3кп
Ст2кп	5ХНМ	Х12МФ
45Г	У7	09Х15Н8Ю
40	45Х	95Х18
10Х14Г14Н4Т	45Х14Н14В2М	05кп
Ст0	40ХФА	20Х17Н2

Вариант 4.	Вариант 5.	Вариант 6.
4Х4ВМФС	20Х20Н14С2	ХГ
11кп	2Х8В8М2К8	30
60	10	Ст6сп
У9	У8	40Х10С2М
6ХС	8ХФ	12Х17
55ХГР	ХГСВФ	4Х5В2ФС
45ХН2МФА	60С2	ХВ5
Ст4сп	Ст2кп	У10А
65С2ВА	50ХФА	20пс
12Х1МФ	10Х11Н23Т3МР	10Х14АГ5

Пример выполнения практической работы.

Ст6пс – сталь углеродистая обыкновенного качества полуспокойная.

ХВСГ – сталь инструментальная легированная, содержащая $C > 1\%$ С, $Cr < 1,5\%$, $W < 1,5\%$, $Si < 1,5\%$, $Mn < 1,5\%$.

У8А – сталь нелегированная инструментальная высококачественная, С – 0,8%.

30Х13 – сталь легированная конструкционная, С – 0,3%, Cr – 13%.

10пс – сталь нелегированная конструкционная качественная полуспокойная, С – 0,1%.

45 – сталь нелегированная конструкционная специальная, С – 0,45%.

Порядок выполнения практической работы.

1. Записать название и цель работы.
2. Определить для каждой марки стали её химический состав и группу, к которой она относится.

Содержание отчёта.

1. Название и цель работы.
2. Вид и состав каждой стали.

Контрольные вопросы.

1. Чем отличаются легированные стали от углеродистых?
2. Как влияют постоянные примеси на свойства сталей?
3. Какие бывают виды углеродистых сталей?
4. Как маркируются углеродистые стали обыкновенного качества?
5. Как маркируются нелегированные конструкционные качественные стали?
6. От чего зависит качество стали?
7. Как маркируются нелегированные инструментальные стали?
8. Как влияют легирующие элементы на свойства сталей?
9. Как отличить легированную конструкционную сталь от легированной инструментальной?
10. Как обозначаются легирующие элементы в марках сталей?

Практическая работа № 5

Выбор конструкционного материала по основным свойствам, исходя из заданных условий.

Цель работы:

получить навыки выбора материала для изготовления заданного изделия и упрочняющей термической обработки;
получить навыки эффективного взаимодействия в коллективе, команде, используя для решения задания метод мозгового штурма.

В результате выполнения практической работы студент должен

знать: классификацию материалов, металлов и сплавов, области их применения; принципы выбора конструкционных материалов для их применения в производстве; закономерности процессов структурообразования металлов и сплавов, основы их термообработки.

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; работать с нормативно-технической документацией, технической литературой для выбора материалов по их назначению и условиям эксплуатации.

Краткие теоретические сведения.

Выбор материала и термообработки деталей машин является ответственным этапом в процессе их проектирования и должен основываться на полном знании физико-механических и технологических свойств конструкционных материалов с учетом их стоимости. При выборе материала для проектируемой детали необходимо учитывать следующие общие требования, которые можно условно разделить на три больших группы — эксплуатационные, экономические и технологические.

Эксплуатационные требования зависят от условий работы детали, и их выполнение определяется свойствами материала, основными из которых являются:

- 1) объемная прочность, характеристиками которой могут быть временное сопротивление, предел текучести, предел выносливости;
- 2) поверхностная прочность и износостойкость, характеризующиеся величиной твердости поверхности по Бринеллю HB или Роквеллу HRC и допускаемым удельным напряжением;
- 3) жесткость, характеризующаяся величиной модуля упругости
- 4) ударная вязкость KCU или KCV, под которой понимают отношение работы удара к начальной площади поперечного сечения образца в месте концентратора;
- 5) весовые характеристики материала, показателями которых являются удельная прочность σ_b/γ , удельная выносливость σ_l/γ , удельная жесткость E/γ и т.п. (где γ — плотность материала);
- 6) прочие свойства, показателями которых могут быть упругость, антифрикционность, электропроводность, коррозионная стойкость, теплопроводность и т. п.

Экономические показатели материала определяются его себестоимостью и дефицитностью. Отметим, что стоимость материала составляет значительную часть стоимости машины.

Технологические требования к материалу тесно связаны с формой и способом обработки детали. К технологическим свойствам относят способность к пластическому формообразованию (ковкость, штампуемость, прокатываемость и т.п.), обрабатываемость резанием, литейные качества (жидкотекучесть, тугоплавкость, усадку), способность изменять свои свойства при термической обработке, свариваемость и др. Ввиду различных затрат на подготовку производства одни технологические процессы обработки материалов (литье, штамповка, прессование, прокатка) экономически выгодны при массовом и крупносерийном производстве, а при индивидуальном и мелкосерийном производстве часто нерентабельны и поэтому заменяются механической обработкой.

Свойства стали можно изменять используя термическую обработку. Термическая обработка металлов и сплавов заключается в изменении структуры металлов и сплавов путём нагрева, выдержки и охлаждения с соблюдением установленных режимов.

Различают следующие виды упрочняющей термической обработки: нормализация, закалка, отпуск, термомеханическая обработка. Также для повышения твёрдости и износостойкости поверхностного слоя применяют различные виды химико-термической обработки: цементацию, азотирование, нитроцементацию (цианирование) и др.

Нормализация – это вид отжига, который заключается в нагреве доэвтектоидной стали на 30-50°С выше A_{c3} , а заэвтектоидной стали выше A_{cm} , непродолжительной выдержке для завершения превращений и охлаждении на воздухе. Нормализация вызывает полную фазовую перекристаллизацию стали и устраняет крупнозернистую структуру, полученную на предыдущих стадиях обработки металла. Нормализацию широко применяют для улучшения свойств стальных отливок вместо закалки и отпуска. Ускоренное охлаждение на воздухе приводит к распаду аустенита при более низких температурах и получению структуры сорбита или троостита (рис.28). Это повышает твердость и прочность нормализованной средне- и высокоуглеродистой стали по сравнению с отожженной.

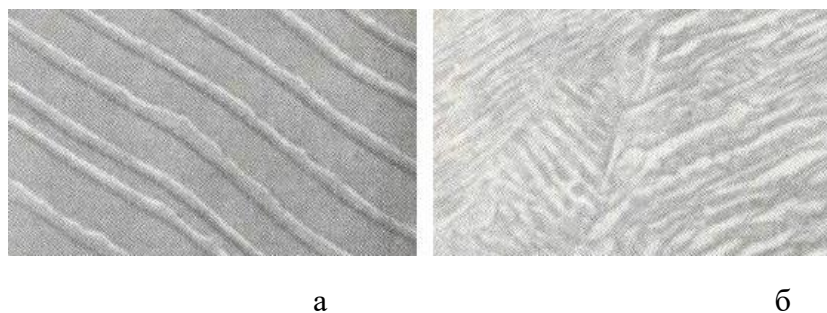


Рис. 28. Структура сорбита (а) и троостита (б)

Назначение нормализации различно в зависимости от состава стали. Для низкоуглеродистых сталей нормализацию применяют вместо отжига. Повышая твердость, нормализация обеспечивает большую производительность при обработке резанием и получение более чистой поверхности. Для отливок из среднеуглеродистой стали нормализацию с высоким отпуском применяют вместо закалки и высокого отпуска. В этом случае механические свойства несколько ниже, но детали подвергаются меньшей деформации при резком изменении температуры, чем при закалке, что практически исключает вероятность появления трещин. Нормализацию с высоким отпуском (600-650°С) часто используют для исправления структуры легированных сталей вместо полного отжига, так как производительность при этом выше.

Закалка заключается в нагреве стали на 30-50°С выше A_{c3} для доэвтектоидных сталей или A_{c1} для заэвтектоидных сталей, выдержке для завершения фазовых превращений и последующем охлаждении со скоростью выше критической. Для углеродистых сталей в качестве охлаждающих сред применяются вода или водные растворы солей, а для легированных – масло. В результате закалки доэвтектоидные и эвтектоидные стали приобретают структуру мартенсита (рис.29), а заэвтектоидные – мартенсита с включениями вторичного цементита. Таким образом, значительно повышается твёрдость и прочность.

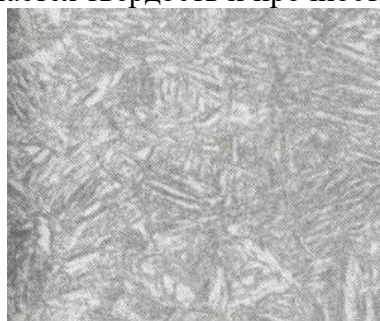


Рис.29. Структура мартенсита

Закалка не является окончательной операцией термической обработки. Чтобы уменьшить хрупкость и напряжения, вызванные закалкой, и получить требуемые механические свойства, сталь

после закалки обязательно подвергают отпуску.

Отпуск заключается в нагреве закаленной стали до температуры ниже A_{c1} , выдержке при заданной температуре и последующем охлаждении с определенной скоростью. Отпуск является окончательной операцией термической обработки, в результате которой сталь получает требуемые механические свойства. Кроме того, отпуск полностью или частично устраняет внутренние напряжения, возникающие при закалке. Эти напряжения снимаются тем полнее, чем выше температура отпуска и медленнее охлаждение. Поэтому изделия сложной формы во избежание их коробления следует охлаждать медленно после отпуска (обычно на воздухе). Изделия из легированных сталей, склонных к возникновению отпускной хрупкости, следует охлаждать быстро (в воде или масле).

Различают три вида отпуска: низкий, средний и высокий. Низкий отпуск проводят с нагревом ниже температуры 250°C . При этом снижаются внутренние напряжения, мартенсит закалки переходит в отпущенный мартенсит, повышается прочность и немного улучшается вязкость, без заметного снижения твердости. Однако такая сталь не выдерживает значительных динамических нагрузок. Низкому отпуску подвергают режущий и измерительный инструмент из углеродистых и низколегированных сталей, а также детали после поверхностной закалки, цементации, цианирования или нитроцементации.

Средний отпуск выполняют при $350-500^{\circ}\text{C}$ и применяют главным образом для пружин, рессор и штампов. Такой отпуск обеспечивает структуру троостита отпуска, а, следовательно, высокий предел упругости, предел выносливости и релаксационную стойкость.

Высокий отпуск проводят при $500-680^{\circ}\text{C}$. Структура стали после высокого отпуска – сорбит отпуска, который обеспечивает наилучшее соотношение прочности и вязкости стали. Высокому отпуску подвергаются изделия из среднеуглеродистых и высоколегированных сталей.

Закалка с высоким отпуском называется улучшением и применяется для конструкционных сталей марок 40, 45, 40X, 40XНМ, 40ХМФ и др. (полуоси, коленчатые валы, шатуны, поворотные кулаки, рычаги, болты, гайки и другие детали).

Термомеханическая обработка (ТМО) – это сочетание пластической деформации стали в аустенитном состоянии с последующей закалкой и низким отпуском с целью повышения прочности и вязкости. Деформация приводит к наклёпу металла, а закалка, проводимая сразу после деформации, приводит к дополнительному повышению прочности.

Виды ТМО.

1. Низкотемпературная термомеханическая обработка (НТМО) проводится при температуре $400-600^{\circ}\text{C}$ (выше температуры начала мартенситного превращения, но ниже температуры рекристаллизации).
2. Высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО) проводится при температуре выше точки A_{c3} .

Химико-термическая обработка – это насыщение поверхности сталей различными компонентами (углеродом, азотом, алюминием, кремнием и др.) для улучшения свойств поверхностного слоя.

Виды химико-термической обработки

1. Цементация – это насыщение поверхности стали углеродом при температуре $910-950^{\circ}\text{C}$ с целью повышения твердости, износостойкости поверхностного слоя деталей, работающих при ударных нагрузках и поверхностном износе (шестерни, втулки, пальцы, ролики и др.). Цементации подвергают низкоуглеродистые стали, содержащие менее $0,3\%\text{C}$ (10, 15, 20, 15X, 20X, 15ХН, 20ХН, 12ХН3А и др.), чтобы сердцевина детали сохраняла высокую вязкость.
2. Азотирование – насыщение поверхности стали азотом при температуре $500-600^{\circ}\text{C}$ в атмосфере газообразного аммиака для повышения твердости, износостойкости, предела выносливости и коррозионной стойкости в воздухе, воде, паре зубчатых колёс, цилиндров двигателей, деталей станков и др. Азотированию подвергают среднеуглеродистые стали, содержащие хром, молибден, ванадий, вольфрам, алюминий – 38Х2МЮА, 40ХН2МА.

3. Нитроцементация и цианирование – насыщение поверхности стали азотом и углеродом одновременно с целью повышения твёрдости, износостойкости, предела выносливости деталей. Эти процессы имеют то же назначение, что и цементация. Нитроцементация проводится в газовой среде из аммиака и науглероживающего газа при температуре 840-860°C, а цианирование – в расплавленных цианистых солях при температуре 820-960°C.

Выбор режима термической обработки для конкретной детали или изделия зависит от уровня механических свойств, которые необходимо обеспечить, а также от химического состава стали. Основными параметрами термической обработки являются температура нагрева металла, скорость нагрева, время выдержки при заданной температуре и скорость охлаждения.

Режимы термической обработки приведены в марочниках сталей.

Практические задания.

Вариант 1

Выбрать сталь для изготовления болтов на станках-автоматах с целью обеспечения максимальной производительности резания. Болты не воспринимают в конструкциях значительных нагрузок. Указать марку стали, её химический состав, механические свойства. Выбрать режим упрочняющей обработки изготовленных болтов. Описать происходящие при термической обработке превращения. Определить получаемую в результате такой обработки структуру металла и зарисовать её.

Вариант 2

Выбрать сталь для изготовления зубьев ковшей экскаваторов, испытывающих сильный износ. Указать марку стали, её химический состав, механические свойства. Выбрать режим упрочняющей обработки изготовленных зубьев ковша экскаватора. Описать происходящие при термической обработке превращения. Определить получаемую в результате такой обработки структуру металла и зарисовать её.

Вариант 3

Выбрать сталь для изготовления крупных пружин железнодорожного транспорта, испытывающих значительные знакопеременные напряжения. Указать марку стали, её химический состав, механические свойства. Выбрать режим упрочняющей обработки изготовленных пружин. Описать происходящие при термической обработке превращения. Определить получаемую в результате такой обработки структуру металла и зарисовать её.

Вариант 4

Выбрать сталь для изготовления крупных подшипников качения. Указать марку стали, её химический состав, механические свойства. Выбрать режим упрочняющей обработки изготовленных подшипников качения. Описать происходящие при термической обработке превращения. Определить получаемую в результате такой обработки структуру металла и зарисовать её.

Вариант 5

Выбрать сталь для изготовления валов диаметром до 100 мм для работы с большими нагрузками. Указать марку стали, её химический состав, механические свойства. Выбрать режим упрочняющей обработки изготовленных валов. Описать происходящие при термической обработке превращения. Определить получаемую в результате такой обработки структуру металла и зарисовать её.

Вариант 6

Выбрать сталь для изготовления сварных строительных конструкций сечением до 100 мм. Конструкции не испытывают при эксплуатации значительных нагрузок. Указать марку стали, её химический состав, механические свойства. Выбрать режим упрочняющей обработки стали. Описать происходящие при термической обработке превращения. Определить получаемую в результате такой обработки структуру металла и зарисовать её.

Порядок выполнения практической работы.

1. Записать название и цель работы.

2. Используя справочный материал и метод мозгового штурма, выбрать сталь для изготовления заданного изделия.
3. Расшифровать марку стали, указать её химический состав, механические свойства.
4. Используя справочный материал, выбрать режим упрочняющей термической обработки для обеспечения требуемых свойств металла.
5. Определить получаемую в результате такой обработки структуру металла и зарисовать её.
6. Защитить результаты работы у доски.

Содержание отчёта.

1. Название и цель работы.
2. Марка стали, её состав и механические свойства.
3. Режим термической обработки заданного изделия.
4. Структура стали.

Контрольные вопросы.

1. Что такое термическая обработка?
2. Какие виды термической обработки применяются для сталей?
3. Что такое нормализация?
4. Что такое закалка?
5. Что такое отпуск?
6. Какие виды отпуска применяются?
7. Что такое мартенсит?
8. Что такое перлит, сорбит, троостит?

Цель работы:
получить навыки работы с ГОСТ.

В результате выполнения практической работы студент должен

уметь: - определять виды конструкционных материалов; разрабатывать технические условия на выпускаемую продукцию; разрабатывать стандарты организации с учетом существующих требований к их содержанию и оформлению.

знать: строение и свойства материалов, методы их исследования; закономерности процессов структурообразования металлов и сплавов.

Краткие теоретические сведения.

ГОСТ — это государственный стандарт, который формулирует требования государства к качеству продукции, работ и услуг, имеющих межотраслевое значение. ГОСТы устанавливаются на основе применения современных достижений науки, технологий и практического опыта с учетом последних редакций международных стандартов или их проектов.

ГОСТ 1497-84 «Металлы. Методы испытаний на растяжение» включает следующие разделы:

- Методы отбора образцов;
- Аппаратура;
- Подготовка к испытанию;
- Проведение испытаний и обработка результатов;
- Приложения.

Механические свойства металлов

Прочность - это способность материала сопротивляться деформации и разрушению под действием внешних сил.

Твёрдость – это способность материала сопротивляться деформации в поверхностном слое при местном силовом контактом воздействии.

Пластичность – это способность материала изменять свою форму под действием внешних сил, не разрушаясь.

Упругость – это способность материала восстанавливать свою форму после снятия внешнего воздействия.

Вязкость – это способность материала поглощать механическую энергию, сохраняя при этом пластичность вплоть до разрушения.

Виды механических испытаний металлов.

1. Статические испытания проводятся при постоянной или медленно возрастающей нагрузке.

- а) испытание на растяжение;
- б) определение твёрдости.

2. Динамические испытания проводятся под действием быстро возрастающей нагрузки или удара.

- а) испытание на ударную вязкость.

3. Циклические испытания проводятся при знакопеременных нагрузках

- а) испытания на усталость.

4. Технологические пробы.

- а) испытание на осадку
- б) испытание на сжатие и т.д.

Испытания на растяжение

Для испытаний используют стандартные образцы цилиндрической формы, которые закрепляются в захватах разрывной машины и растягиваются до разрыва.

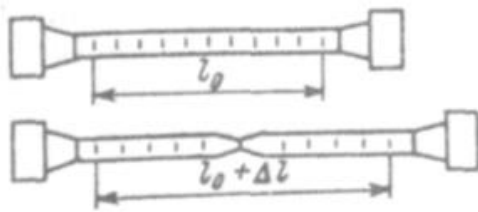


Рис. 12. Схема стандартного образца для испытаний на растяжение.

Пишущий механизм машины фиксирует диаграмму растяжения. Большинство металлов имеют диаграмму растяжения, представленную на рисунке 13. Для некоторых металлов (низкоуглеродистых сталей, латуней) она имеет вид, представленный на рисунке 14.

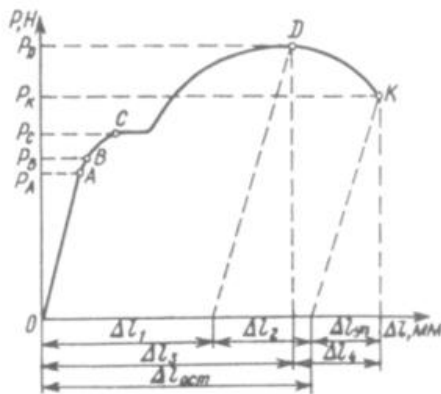


Рис. 13. Диаграмма растяжения металла.

На ней присутствует практически горизонтальная площадка, обозначающая явление текучести, т.е. удлинение образца практически без увеличения нагрузки на определённом этапе деформации. До точки В деформация имеет упругий характер, а затем пластический. Точка С показывает начало площадки текучести. Точка D показывает максимальную нагрузку, которую способен выдержать образец без разрушения. Точка E показывает момент разрушения. По диаграмме растяжения определяют величины прочности, пластичности и упругости металлов.

Величины характеризующие прочность металла.

1. Физический предел текучести – это наименьшее напряжение, при котором без заметного увеличения нагрузки продолжается деформация образца:

$$\sigma_T = P_c / S_0,$$

где P_c – нагрузка в точке С,

S_0 – площадь поперечного сечения образца до испытания.

2. Условный предел текучести – это напряжение, при котором образец получает удлинение, равное 0,2 % расчётной длины.

$$\sigma_{0,2} = P_{0,2} / S_0,$$

где $P_{0,2}$ – нагрузка, вызывающая удлинение образца, составляющее 0,2% расчетной длины;

S_0 – площадь поперечного сечения образца до испытания.

2. Предел прочности – временное сопротивление растяжению:

$$\sigma_B = P_{max} / S_0,$$

где P_{max} – нагрузка в точке D,

S_0 – площадь поперечного сечения образца до испытания.

Величины, характеризующие пластичность

1. Относительное удлинение образца:

$$\delta = (l - l_0) * 100 \% / l_0,$$

где l_0 и l – длина образца до и после испытания.

2. Относительное сужение площади поперечного сечения образца:

$$\psi = (S_0 - S) \cdot 100\% / S_0,$$

где S_0 и S – площадь поперечного сечения образца до и после испытания.

Величины, характеризующие упругость.

1. Модуль упругости – это отношение напряжения в металле к соответствующему относительному удлинению в пределах упругой деформации:

$$E = \sigma / \delta$$

Практические задания.

Вариант 1

1. Изучить ГОСТ 1497-84.
2. Начертить диаграмму растяжения металла.
3. Заполнить технологическую карту определения параметра механических свойств

Оборудование	
Пропорциональный цилиндрический образец тип I номер 1 (размеры)	
Порядок испытания	
Обозначение и определение физического предела текучести (нижнего)	
Формула для определения физического предела текучести	
Условные обозначения в формуле	
Порядок определения исходных данных	

Вариант 2

1. Изучить ГОСТ 1497-84.
2. Начертить диаграмму растяжения металла.
3. Заполнить технологическую карту определения параметра механических свойств

Оборудование	
Пропорциональный цилиндрический образец тип III номер 2 (размеры)	
Порядок испытания	
Обозначение и определение временного сопротивления (предела прочности)	
Формула для определения временного сопротивления	
Условные обозначения в формуле	
Порядок определения исходных данных	

Вариант 3

1. Изучить ГОСТ 1497-84.
2. Начертить диаграмму растяжения металла.
3. Заполнить технологическую карту определения параметра механических свойств

Оборудование	
Пропорциональный цилиндрический образец тип VI номер 3 (размеры)	
Порядок испытания	
Обозначение и определение	

относительного удлинения после разрыва	
Формула для определения относительного удлинения после разрыва	
Условные обозначения в формуле	
Порядок определения исходных данных	

Вариант 4

1. Изучить ГОСТ 1497-84.
2. Начертить диаграмму растяжения металла.
3. Заполнить технологическую карту определения параметра механических свойств

Оборудование	
Пропорциональный цилиндрический образец тип VII номер 4 (размеры)	
Порядок испытания	
Обозначение и определение относительного сужения после разрыва	
Формула для определения относительного сужения после разрыва	
Условные обозначения в формуле	
Порядок определения исходных данных	

Контрольные вопросы.

1. Что такое прочность?
2. Что такое пластичность?
3. Что такое упругость?
4. Какие образцы применяют при испытаниях на растяжение?
5. Какое оборудование необходимо для испытаний на растяжение?
6. Как определяют предел прочности?
7. Как определяют предел текучести?
8. Как определяют относительное удлинение образца?
9. Как определяют относительное сужение площади поперечного сечения образца?

Список использованных источников

Электронные издания

1. Адаскин, А. М. Материаловедение и технология материалов : учебное пособие / А. М. Адаскин, В. М. Зуев. — 2-е изд. — Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2021. — 336 с. — (Профессиональное образование). - ISBN 978-5-91134-754-3. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1190685>
2. Черепяхин, А. А. Материаловедение : учебник / А. А. Черепяхин. — Москва : КУРС : ИНФРА-М, 2020. — 336 с. — (Среднее профессиональное образование). - ISBN 978-5-906923-18-9. - Текст : электронный // ЭБС Znanium.com [сайт]. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1060478>

Дополнительные источники

1. . Дмитренко, В. П. Материаловедение в машиностроении : учеб. пособие / В.П. Дмитренко, Н.Б. Мануйлова. — Москва : ИНФРА-М, 2018. — 432 с. + Доп. материалы [Электронный ресурс; Режим доступа: <https://new.znanium.com>]. — (Среднее профессиональное образование). - ISBN 978-5-16-014356-9. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/961460>
2. Стуканов, В. А. Материаловедение : учебное пособие / В.А. Стуканов. — Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2021. — 368 с. — (Среднее профессиональное образование). - ISBN 978-5-8199-0711-5. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1794455>