Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
"Волжский государственный университет водного транспорта"

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б.1.О.Д16 Материаловедение. Технология конструкционных материалов

Профиль	Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики
Институт	Пермский филиал
	Отделение высшего образования
Специальность	26.05.07 Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики

1. Объем дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов/зачетных единиц	Семестры
		2
Лекции	34 Часы	34
СРС	40 Часы	40
Лабораторные работы	34 Часы	34
Дифференцированный зачет	0 Часы	

2. Место дисциплины в структуре ООП

Код дисциплины	Наименование блока	Трудоемкость дисциплины, з.е.
Б1.О.16	Блок 1 Дисциплины (модули) (Обязательная часть)	3

3. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекции	СРС	Лабораторные работы	Дифференцированный зачет	Всего
1	Раздел 1 Основы технологии материалов, выбор технологии производства заготовок и деталей					
1,1	Тема 1.1 Цель изучения курса. Понятие о точности и качестве изготовления деталей. Основные конструкционные материалы в современном машиностроении и судостроении. Классификация методов получения и обработки заготовок. Теоретические и технологические основы производства.	1 Часы				1 Часы
1,1	Тема 1.10 Специальные способы литья. Литье по выплавляемым моделям, литье в оболочковые формы, литье в кокиль, литье под давлением в металлические формы, центробежное литье. Качество отливок.	1 Часы	1 Часы	2 Часы		4 Часы
1,11	Тема 1.11 Обработка металлов давлением. Теоретические основы обработки металлов давлением. Основные виды обработки металлов давлением, физико-механические особенности процессов, происходящих при деформации. Прокатное производство. Основные виды прокатки, рабочие инструменты, прокатный сортамент.	1 Часы	2 Часы			3 Часы
1,12	Тема 1.12 Основные виды обработки металлов давлением, физико-механические особенности процессов, происходящих при деформации. Прокатное производство. Основные виды прокатки, рабочие инструменты, прокатный сортамент.	1 Часы		2 Часы		3 Часы
1,13	Тема 1.13 Особенности основных видов обработки металлов давлением: прессование, ковка, горячая объемная штамповка, режимы обработки, используемое оборудование. Методы обработки давлением в холодном состоянии. Основные операции листовой штамповки, виды волочением, используемые инструменты и их устройство.	1 Часы	1 Часы			2 Часы

1,14	Тема 1.14 Физические основы процесса резания. Силы резания. Тепловые явления при резании.	1 Часы	2 Часы			3 Часы
1,15	Тема 1.15 Износ и стойкость инструмента. Влияние вибрации на качество обработки. Точность, качество и производительность обработки	1 Часы	1 Часы	2 Часы		4 Часы
1,2	Тема 1.2 Сплавы на основе железа (стали и чугуны). Их применение и классификация. Металлургия чугуна: исходные материалы, доменный процесс, доменная печь	1 Часы	2 Часы			3 Часы
1,3	Тема 1.3 Производство стали: конвертерный процесс, мартеновский способ, электросталеплавильные печи	1 Часы	2 Часы			3 Часы
1,4	Тема 1.4 Разливка стали и повышение ее качества: изложницы, вакуумирование стали, электрошлаковый переплав	1 Часы				1 Часы
1,5	Тема 1.5 Медь и сплавы на ее основе. Производство меди: медные руды, пирометаллургический способ медный штейн, рафинирование меди.	1 Часы	2 Часы			3 Часы
1,6	Тема 1.6 Алюминий и сплавы на основе алюминия. Производство алюминия: сырье, электролиз и рафинирование алюминия,	1 Часы	1 Часы	2 Часы		4 Часы
1,7	Тема 1.7 Титан и сплавы на его основе. Производство титана: сырье, получение титанового шлака, хлорирование, вакуумная дистилляция титановой губки	1 Часы	2 Часы			3 Часы
1,8	Тема 1.8 Литейное производство. Технология литейного производства, плавильные агрегаты. Состав и свойства формовочных смесей и литейных сплавов. Литье в разовые песчаные формы. Способы формовки, модельный комплект и его назначение.	1 Часы		2 Часы		3 Часы
1,9	Тема 1.9 Состав и свойства формовочных смесей и литейных сплавов. Литье в разовые песчаные формы. Способы формовки, модельный комплект и его назначение.	1 Часы		2 Часы		3 Часы
2	Раздел 2 Материаловедение и обоснованный выбор материалов для конкретных инженерных задач					
2,1	Тема 2.1 Особенности строения металлов как кристаллических тел. Аморфные тела. Типы кристаллических решеток промышленных металлов (железо, магний, алюминий, медь, цинк, титан и т.д.) Понятие о полиморфизме. Анизотропия свойств металлов. Типы связей между частицами в твердых телах. Диффузионные процессы в металлах.	1 Часы	2 Часы			3 Часы
2,1	Тема 2.10 Фазы в металлических сплавах. Понятия «сплав», «фаза», «степень свободы». Твердые растворы внедрения и замещения. Ограниченные и неограниченные, упорядоченные и неупорядоченные твердые растворы, влияние температуры на растворимость металлов и неметаллов. Химические и электронные соединения, фазы Юм-Розери, механические смеси. Правило фаз Гиббса.	1 Часы	2 Часы			3 Часы
2,11	Тема 2.11 Диаграмма состояния как способ описания особенностей кристаллизации сплавов в равновесных условиях. Построение диаграммы состояния методом теплового эффекта (метод Курнакова). Виды диаграмм состояния (диаграммы состояния для компонентов, образующих твердые растворы; нерастворимых компонентов; компонентов, образующих ограниченные твердые растворы и химические соединения). Понятие о тройных диаграммах состояния.			2 Часы		2 Часы
2,12	Тема 2.12 Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов. Фазы в системе «железо-углерод» и «железо-цементит». Эвтектическое и эвтектоидное превращение, образование первичного, вторичного и третичного цементита. Влияние температуры на растворимость углерода в a- и g-железе. Магнитное превращение железа.	1 Часы		2 Часы		3 Часы

2,13	Тема 2.13 Углеродистые стали. Стали обычного качества, качественные, высококачественные и особовысококачественные. Маркировка, химический состав, свойства и область применения. Влияние углерода и постоянных примесей на свойства сталей. Конструкционные, рессорно-пружинные и инструментальные углеродистые стали. Автоматные стали.	1 Часы		2 Часы		3 Часы
2,14	Тема 2.14 Чугуны. Виды белых и серых чугунов. Обыкновенные, ковкий и высокопрочный чугуны, чугун с вермикулярным графитом. Влияние формы графитовых включений на механические свойства серых чугунов. Структура, свойства, маркировка, методы получения и область применения серых чугунов.	1 Часы	1 Часы	2 Часы		4 Часы
2,15	Тема 2.15 Цветные металлы и сплавы, порошковые материалы. Алюминий и сплавы на его основе. Химический состав, структура, свойства, маркировка и область применения алюминиевых сплавов. Теория и практика термической обработки дюралюминов. Закалка и старение.		2 Часы			2 Часы
2,16	Тема 2.16 Теория термической обработки. Физическая сущность явлений, происходящих при бездиффузионном (мартенситном) превращении. Диаграмма изотермического превращения переохлажденного аустенита. Влияние степени переохлаждения на структурообразование углеродистых сталей. Бейнитное превращение. Температура начала мартенситного превращения.	1 Часы		2 Часы		3 Часы
2,17	Тема 2.17 Технология (практика) термической обработки углеродистых сталей. Закалка. Отжиг. Нормализация. Закалка сталей. Характерные точки на диаграмме состояния «железо-цементит». Выбор температуры нагрева под закалку. Влияние скорости охлаждения на структуру сталей. Диаграмма анизотермического превращения аустенита. Отжиг и нормализация. Четыре основных превращения в сталях. Тест.	1 Часы	1 Часы	2 Часы		4 Часы
2,18	Тема 2.18 Отпуск углеродистых сталей. Цель отпуска. анализ явлений, происходящих при нагреве закаленной стали. Виды отпуска (низкий, средний, высокий). Улучшение. Выбор вида термообработки в зависимости от содержания углерода в стали. Отпускная хрупкость.	1 Часы		2 Часы		3 Часы
2,19	Тема 2.19 Другие виды термической и химико-термической обработки сталей. Термообработка, не связанная с фазовыми превращениями в твердом состоянии (нагрев для снятия внутренних напряжений, рекристаллизационный отжиг, гомогенизация). Виды закалки в зависимости от способа охлаждения.	1 Часы	1 Часы			2 Часы
2,2	Тема 2.20 Поверхностная термическая и химико-термическая обработка. Перспективы развития ХТО.	1 Часы	1 Часы	2 Часы		4 Часы
2,2	Тема 2.2 Дефекты кристаллического строения металлов. Теоретическая и реальная прочность чистых металлов. Теория дислокаций. Виды дислокаций. Влияние дефектов кристаллического строения на физико-механические свойства металлов, наклеп. Понятие о поликристаллическом строении металлов.	1 Часы	2 Часы			3 Часы
2,21	Тема 2.21 Легирующие элементы в сталях. Влияние химических элементов на особенности структурообразования легированных сталей. Стали аустенитного, перлитного, ферритного и карбидного классов. Маркировка легированных сталей и сплавов, особенности их термической обработки.	1 Часы	2 Часы			3 Часы

2,22	Тема 2.22 Коррозионно-стойкие и судокорпусные стали. Основы теории электрохимической коррозии. Коррозионно-стойкие стали и сплавы различных классов. Структура, свойства, маркировка, область применения. Судокорпусные стали. Маркировка по Правилам Российского Речного Регистра, химический состав, область применения.	1 Часы	1 Часы			2 Часы
2,23	Тема 2.23 Жаростойкие и жаропрочные материалы. Химическая коррозия металлов. Жаростойкость и жаропрочность, критерии жаропрочности. Жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы, структура, свойства, маркировка, область применения.		1 Часы			1 Часы
2,24	Тема 2.24 Инструментальные материалы. Углеродистые, низколегированные, быстрорежущие стали для инструментов, порошковые твердые сплавы. Область применения. Стали для обработки металлов давлением, штамповые стали.	1 Часы	1 Часы			2 Часы
2,25	Тема 2.25 Износостойкие и антифрикционные материалы. Характеристики износов и видов изнашивания. Закономерности изнашивания деталей пар трения, рациональный выбор материалов трибосопряжений, пути уменьшения износа. Материалы, устойчивые к абразивному, усталостному, адгезионному изнашиванию, фреттинг-коррозии. антифрикционные сплавы на основе меди и свинца (бронзы и баббиты). Итоговый тест.	1 Часы	1 Часы	2 Часы		4 Часы
2,3	Тема 2.3 Деформация и разрушение металлов. Понятие об упругой и пластической деформациях, эффект «сверхпластичности». Изменение структуры металла при пластической деформации. Хрупкое и вязкое разрушение металлов	1 Часы	2 Часы			3 Часы
2,4	Тема 2.4 Влияние нагрева на структуру и свойства деформированного металла. Возврат, две его стадии. Рекристаллизация (первичная, вторичная, собирательная). Температурный порог рекристаллизации. Инкубационный период. Холодная и горячая деформация, ее промышленное использование (ковка, штамповка и т.д.)		2 Часы			2 Часы
2,5	Тема 2.5 Формирование структуры металлов при кристаллизации. Понятие о кристаллизации, первичная и вторичная кристаллизация. Термодинамические предпосылки кристаллизации и плавления. Равновесные условия и температуры кристаллизации и плавления. Тепловой эффект, кривая охлаждения. Степень переохлаждения , ее влияние на скорости образования зародышей и роста кристаллов.	1 Часы	1 Часы			2 Часы
2,6	Тема 2.6 Строение стального слитка. Кинетика образования различных зон в слитке, связь со степенью переохлаждения при кристаллизации. Дендритное строение литого металла. Фронт кристаллизации, дендритная, зональная и гравитационная ликвация в стальном слитке, причины ее образования. Отрицательное влияние ликвации на свойства литого и горячедеформированного металла. Методы борьбы с образованием ликвации.			2 Часы		2 Часы
2,7	Тема 2.7 Механические свойства, измеряемые при статических нагрузках. Испытания на растяжение. Пределы упругости, текучести и прочности при растяжении. Относительные удлинение и растяжение. Испытания на изгиб. Предел прочности при изгибе.	1 Часы				1 Часы
2,8	Тема 2.8 Испытания на твердость. Определение твердости вдавливанием, методы Бринелля, Виккерса, Роквелла. Микротвердость. Склерометрия.			2 Часы		2 Часы

2,9	Тема 2.9 Механические свойства, измеряемые при динамических нагрузках. Испытания на ударную вязкость. Работа распространения трещины. Порог хладноломкости, температурный запас вязкости. Усталость металла. Особенности усталостного разрушения. Испытания на предел выносливости. Влияние качества поверхности металла на предел выносливости. Критерии выносливости.	1 Часы	1 Часы			2 Часы

4. Компетенции обучающегося, формируемые в процессе освоения дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Формируемые компетенции		
1	Раздел 1 Основы технологии материалов, выбор технологии производства заготовок и деталей			
1,1	Тема 1.1 Цель изучения курса. Понятие о точности и качестве изготовления деталей. Основные конструкционные материалы в современном машиностроении и судостроении. Классификация методов получения и обработки заготовок. Теоретические и технологические основы производства.	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.З.1;)		
1,1	Тема 1.10 Специальные способы литья. Литье по выплавляемым моделям, литье в оболочковые формы, литье в кокиль, литье под давлением в металлические формы, центробежное литье. Качество отливок.	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.З.1;ОПК-3.У.1;ОПК-3.В.1;)		
1,11	Тема 1.11 Обработка металлов давлением. Теоретические основы обработки металлов давлением. Основные виды обработки металлов давлением, физико-механические особенности процессов, происходящих при деформации. Прокатное производство. Основные виды прокатки, рабочие инструменты, прокатный сортамент.	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.З.1;)		
1,12	Тема 1.12 Основные виды обработки металлов давлением, физико-механические особенности процессов, происходящих при деформации. Прокатное производство. Основные виды прокатки, рабочие инструменты, прокатный сортамент.	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.З.1;ОПК-3.У.1;ОПК-3.В.1;)		
1,13	Тема 1.13 Особенности основных видов обработки металлов давлением: прессование, ковка, горячая объемная штамповка, режимы обработки, используемое оборудование. Методы обработки давлением в холодном состоянии. Основные операции листовой штамповки, виды волочением, используемые инструменты и их устройство.	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.З.1;)		
1,14	Тема 1.14 Физические основы процесса резания. Силы резания. Тепловые явления при резании.	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.З.1;)		
1,15	Тема 1.15 Износ и стойкость инструмента. Влияние вибрации на качество обработки. Точность, качество и производительность обработки	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.З.1;ОПК-3.У.1;ОПК-3.В.1;)		
1,2	Тема 1.2 Сплавы на основе железа (стали и чугуны). Их применение и классификация. Металлургия чугуна: исходные материалы, доменный процесс, доменная печь	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.З.1;)		
1,3	Тема 1.3 Производство стали: конвертерный процесс, мартеновский способ, электросталеплавильные печи	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.З.1;)		
1,4	Тема 1.4 Разливка стали и повышение ее качества: изложницы, вакуумирование стали, электрошлаковый переплав	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.З.1;)		
1,5	Тема 1.5 Медь и сплавы на ее основе. Производство меди: медные руды, пирометаллургический способ медный штейн, рафинирование меди.	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.З.1;)		
1,6	Тема 1.6 Алюминий и сплавы на основе алюминия. Производство алюминия: сырье, электролиз и рафинирование алюминия,	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.З.1;ОПК-3.У.1;ОПК-3.В.1;)		
1,7	Тема 1.7 Титан и сплавы на его основе. Производство титана: сырье, получение титанового шлака, хлорирование, вакуумная дистилляция титановой губки	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.З.1;)		

1,8	Тема 1.8 Литейное производство. Технология литейного производства, плавильные агрегаты. Состав и свойства формовочных смесей и литейных сплавов. Литье в разовые песчаные формы. Способы формовки, модельный комплект и его назначение.	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.З.1;ОПК-3.У.1;ОПК-3.В.1;)		
1,9	Тема 1.9 Состав и свойства формовочных смесей и литейных сплавов. Литье в разовые песчаные формы. Способы формовки, модельный комплект и его назначение.	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.З.1;ОПК-3.У.1;ОПК-3.В.1;)		
2	Раздел 2 Материаловедение и обоснованный выбор материалов для конкретных инженерных задач			
2,1	Тема 2.1 Особенности строения металлов как кристаллических тел. Аморфные тела. Типы кристаллических решеток промышленных металлов (железо, магний, алюминий, медь, цинк, титан и т.д.) Понятие о полиморфизме. Анизотропия свойств металлов. Типы связей между частицами в твердых телах. Диффузионные процессы в металлах.	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.З.1;)		
2,1	Тема 2.10 Фазы в металлических сплавах. Понятия «сплав», «фаза», «степень свободы». Твердые растворы внедрения и замещения. Ограниченные и неограниченные, упорядоченные и неупорядоченные твердые растворы, влияние температуры на растворимость металлов и неметаллов. Химические и электронные соединения, фазы Юм-Розери, механические смеси. Правило фаз Гиббса.	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.З.1;)		
2,11	Тема 2.11 Диаграмма состояния как способ описания особенностей кристаллизации сплавов в равновесных условиях. Построение диаграммы состояния методом теплового эффекта (метод Курнакова). Виды диаграмм состояния (диаграммы состояния для компонентов, образующих твердые растворы; нерастворимых компонентов; компонентов, образующих ограниченные твердые растворы и химические соединения). Понятие о тройных диаграммах состояния.	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.З.1;ОПК-3.У.1;ОПК-3.В.1;)		
2,12	Тема 2.12 Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов. Фазы в системе «железо-углерод» и «железо-цементит». Эвтектическое и эвтектоидное превращение, образование первичного, вторичного и третичного цементита. Влияние температуры на растворимость углерода в a- и g-железе. Магнитное превращение железа.	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.З.1;ОПК-3.У.1;ОПК-3.В.1;)		
2,13	Тема 2.13 Углеродистые стали. Стали обычного качества, качественные, высококачественные и особовысококачественные. Маркировка, химический состав, свойства и область применения. Влияние углерода и постоянных примесей на свойства сталей. Конструкционные, рессорно-пружинные и инструментальные углеродистые стали. Автоматные стали.	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.З.1;ОПК-3.У.1;ОПК-3.В.1;)		
2,14	Тема 2.14 Чугуны. Виды белых и серых чугунов. Обыкновенные, ковкий и высокопрочный чугуны, чугун с вермикулярным графитом. Влияние формы графитовых включений на механические свойства серых чугунов. Структура, свойства, маркировка, методы получения и область применения серых чугунов.	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.З.1;ОПК-3.У.1;ОПК-3.В.1;)		
2,15	Тема 2.15 Цветные металлы и сплавы, порошковые материалы. Алюминий и сплавы на его основе. Химический состав, структура, свойства, маркировка и область применения алюминиевых сплавов. Теория и практика термической обработки дюралюминов. Закалка и старение.	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.З.1;)		
2,16	Тема 2.16 Теория термической обработки. Физическая сущность явлений, происходящих при бездиффузионном (мартенситном) превращении. Диаграмма изотермического превращения переохлажденного аустенита. Влияние степени переохлаждения на структурообразование углеродистых сталей. Бейнитное превращение. Температура начала мартенситного превращения.	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.З.1;ОПК-3.У.1;ОПК-3.В.1;)		

2,17	Тема 2.17 Технология (практика) термической обработки углеродистых сталей. Закалка. Отжиг. Нормализация. Закалка сталей. Характерные точки на диаграмме состояния «железо-цементит». Выбор температуры нагрева под закалку. Влияние скорости охлаждения на структуру сталей. Диаграмма анизотермического превращения аустенита. Отжиг и нормализация. Четыре основных превращения в сталях. Тест.	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.З.1;ОПК-3.У.1;ОПК-3.В.1;)		
2,18	Тема 2.18 Отпуск углеродистых сталей. Цель отпуска. анализ явлений, происходящих при нагреве закаленной стали. Виды отпуска (низкий, средний, высокий). Улучшение. Выбор вида термообработки в зависимости от содержания углерода в стали. Отпускная хрупкость.	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.З.1;ОПК-3.У.1;ОПК-3.В.1;)		
2,19	Тема 2.19 Другие виды термической и химико-термической обработки сталей. Термообработка, не связанная с фазовыми превращениями в твердом состоянии (нагрев для снятия внутренних напряжений, рекристаллизационный отжиг, гомогенизация). Виды закалки в зависимости от способа охлаждения.	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.З.1;)		
2,2	Тема 2.20 Поверхностная термическая и химико-термическая обработка. Перспективы развития ХТО.	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.З.1;ОПК-3.У.1;ОПК-3.В.1;)		
2,2	Тема 2.2 Дефекты кристаллического строения металлов. Теоретическая и реальная прочность чистых металлов. Теория дислокаций. Виды дислокаций. Влияние дефектов кристаллического строения на физико-механические свойства металлов, наклеп. Понятие о поликристаллическом строении металлов.	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.З.1;)		
2,21	Тема 2.21 Легирующие элементы в сталях. Влияние химических элементов на особенности структурообразования легированных сталей. Стали аустенитного, перлитного, ферритного и карбидного классов. Маркировка легированных сталей и сплавов, особенности их термической обработки.	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.З.1;)		
2,22	Тема 2.22 Коррозионно-стойкие и судокорпусные стали. Основы теории электрохимической коррозии. Коррозионно-стойкие стали и сплавы различных классов. Структура, свойства, маркировка, область применения. Судокорпусные стали. Маркировка по Правилам Российского Речного Регистра, химический состав, область применения.	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.З.1;)		
2,23	Тема 2.23 Жаростойкие и жаропрочные материалы. Химическая коррозия металлов. Жаростойкость и жаропрочность, критерии жаропрочности. Жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы, структура, свойства, маркировка, область применения.	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.З.1;)		
2,24	Тема 2.24 Инструментальные материалы. Углеродистые, низколегированные, быстрорежущие стали для инструментов, порошковые твердые сплавы. Область применения. Стали для обработки металлов давлением, штамповые стали.	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.З.1;)		
2,25	Тема 2.25 Износостойкие и антифрикционные материалы. Характеристики износов и видов изнашивания. Закономерности изнашивания деталей пар трения, рациональный выбор материалов трибосопряжений, пути уменьшения износа. Материалы, устойчивые к абразивному, усталостному, адгезионному изнашиванию, фреттинг-коррозии. антифрикционные сплавы на основе меди и свинца (бронзы и баббиты). Итоговый тест.	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.З.1;ОПК-3.У.1;ОПК-3.В.1;)		
2,3	Тема 2.3 Деформация и разрушение металлов. Понятие об упругой и пластической деформациях, эффект «сверхпластичности». Изменение структуры металла при пластической деформации. Хрупкое и вязкое разрушение металлов	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.З.1;)		

2,4	Тема 2.4 Влияние нагрева на структуру и свойства деформированного металла. Возврат, две его стадии. Рекристаллизация (первичная, вторичная, собирательная). Температурный порог рекристаллизации. Инкубационный период. Холодная и горячая деформация, ее промышленное использование (ковка, штамповка и т.д.)	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.3.1;)		
2,5	Тема 2.5 Формирование структуры металлов при кристаллизации. Понятие о кристаллизации, первичная и вторичная кристаллизация. Термодинамические предпосылки кристаллизации и плавления. Равновесные условия и температуры кристаллизации и плавления. Тепловой эффект, кривая охлаждения. Степень переохлаждения , ее влияние на скорости образования зародышей и роста кристаллов.	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.3.1;)		
2,6	Тема 2.6 Строение стального слитка. Кинетика образования различных зон в слитке, связь со степенью переохлаждения при кристаллизации. Дендритное строение литого металла. Фронт кристаллизации, дендритная, зональная и гравитационная ликвация в стальном слитке, причины ее образования. Отрицательное влияние ликвации на свойства литого и горячедеформированного металла. Методы борьбы с образованием ликвации.	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.3.1;ОПК-3.У.1;ОПК-3.В.1;)		
2,7	Тема 2.7 Механические свойства, измеряемые при статических нагрузках. Испытания на растяжение. Пределы упругости, текучести и прочности при растяжении. Относительные удлинение и растяжение. Испытания на изгиб. Предел прочности при изгибе.	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.3.1;)		
2,8	Тема 2.8 Испытания на твердость. Определение твердости вдавливанием, методы Бринелля, Виккерса, Роквелла. Микротвердость. Склерометрия.	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.3.1;ОПК-3.У.1;ОПК-3.В.1;)		
2,9	Тема 2.9 Механические свойства, измеряемые при динамических нагрузках. Испытания на ударную вязкость. Работа распространения трещины. Порог хладноломкости, температурный запас вязкости. Усталость металла. Особенности усталостного разрушения. Испытания на предел выносливости. Влияние качества поверхности металла на предел выносливости. Критерии выносливости.	ОПК-3(ИДК: ОПК-3.3.1;)		

5. Перечень планируемых результатов обучения, соотнесенных с планируемыми результатами освоения

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование и развитие у обучающегося следующих компетенций:

№ п/п	компетенции	Индикатор достижения		
		Знать	Уметь	Владеть
1	Способен проводить измерения и наблюдения, обрабатывать и представлять экспериментальные данные	ОПК-3.З.1 Знает методику выбора способа и средства измерений и проведения экспериментальных исследований	ОПК-3.У.1 Уметь обрабатывать экспериментальные данные, интерпретировать и профессионально представлять полученные результаты	ОПК-3.В.1 Владеть навыками работы с измерительными приборами и инструментами

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование и развитие у обучающегося следующих требуемых Международной конвенцией о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты 1978 года стандартов компетентности:

№ п/п	Таблица	Функция	Сфера компетентности
1			

6. Материально-техническое и учебно-методическое обеспечение программы

6.1 Помещения и оборудование

№ п/п	Вид помещений	Оснащение помещений	№ помещений

1	Учебные аудитории для проведения учебных занятий	оборудование и технические средства обучения (Печь ПЛ10/12,5 (камерная высокотемпературная) (2 ед.); Твердомер ТК-2М М000000447 (1 ед.); Прибор ТШ-2 М000000435 (1 ед.); Прибор для определения твердости М000000469 (1 ед.); Микроскоп МИМ-7 М000004065 (3 ед.); Стул (10 ед.); Стол аудиторный (8 ед.); Машина 0001350240 (1 ед.); Прибор 0001330921 (1 ед.); Прибор 0001351023 (1 ед.); Установка 0001330932 (1 ед.).Весы технические (1 ед.); Гальванометр напряжения (4 ед.); Доска аудиторная (1 ед.); Интегратор (2 ед.); Киноэкран (2 ед.); Модель кристаллической решетки (4 ед.); Потенциометр КСП (7 ед.); Потенциостат П5848 (1 ед.); Прибор для определения микротвердости (1 ед.); Прибор для определения твердости металла (1 ед.); Станок для шлифования и полирования (2 ед.); Стеллаж металлический (2 ед.); Стол верстак (1 ед.); Стол монтажный (5 ед.); Стол однотумбовый (10 ед.); Твердомер ТК-2М (1 ед.); Шкаф секционный (6 ед.); Электроточило (1 ед.) (171))	171
2	Помещения для самостоятельной работы обучающихся	компьютерная техника с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечение доступа в электронную информационно-образовательную среду университета	171

6.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства

№ п/п	Наименование
1	Microsoft Office Professional Plus 2016 (Договор №44/109-15 от 28.12.2015 (бессрочно))
2	Microsoft Office ProPlus 2013 (Договор №44/59-18 от 09.04.2018 (бессрочно))

6.3 Карта обеспеченности печатными и(или) электронными изданиями и электронными образовательными ресурсами

№ п/п	Наименование источника	Год издания	Ресурс	Количество экземпляров
1	Крайнова, В.В. Методические указания по организации и выполнению внеаудиторной (самостоятельной) работы [Электронный ресурс] : для преподавателей и студ.по направлениям подготовки (спец.) высш.и сред.проф.образования / В. В. Крайнова ; ВГУВТ. - Н.Новгород, 2018. - 1 текст/файл. - Авторский вариант. – Режим доступа: http://94.100.87.24:8080/MarcWeb/Tmp/f15520.pdf	2 018	Электронный ресурс	0
2	Глебов, В.В.;Материаловедение;учебно-метод.указания для лабор.работ для студ.очн.и заочн.обучения спец.1401,2013,2402,2405,2406,2904,3302;Глебов, В.В.Ефремов, С.Ю.Курников, А.С.-Н.Новгород,ВГАВТ; <null> ;	2 003	Текст	393
3	Арзамасов, Б.Н.;Материаловедение;учебник;Арзамасов, Б.Н.Макарова, В.И.Мухин, Г.Г.Рыжов, Н.М.Силаева, В.И.-М.,Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана; <null> ;	2 008	Текст	49
4	Богодухов, С.И.;Курс материаловедения в вопросах и ответах;учебное пособие;Богодухов, С.И.Козик, Е.С.Свиденко, Е.В.-Москва,Инновационное машиностроение; URL: https://reader.lanbook.com/book/151070#1 (дата обращения: 25.05.2022) ;<null>	2 018	Электронный ресурс	0
5	Мизгирев, Д.С.;Лабораторный практикум по дисциплине: Материаловедение;для студ.1-2 курсов очн.и заочн.обучения;Глебов, В.В.Мизгирев, Д.С.-Н.Новгород,<null>; <null> ;http://94.100.87.24:8080/marcweb/	2 019	Электронный ресурс	0
6	Глебов, В.В.;Сборник вопросов и задач по материаловедению;методические указания и задания для выполнения контрольных работ для студентов: [по направлениям подготовки 26.05.06, 26.05.07, 23.03.03, 23.04.03];Глебов, В.В.Корнев, А.Б.Репин, Ф.Ф.-Н.Новгород,ВГУВТ; <null> ;	2 023	Текст	50
7	Фетисов, Г.П.;Материаловедение и технология металлов;учебник для вузов;Гольцов, В.А.Матюнин, В.М.Соколов, В.С.Тибрин, Г.С.Фетисов, Г.П.-Москва,Юрайт; URL: https://urait.ru/viewer/materialovedenie-i-tehnologiya-materialov-545124#page/1 (дата обращения: 15.02.2024) ;<null>	2 024	Электронный ресурс	0

Программа предусматривает возможность применения электронного обучения, дистанционных образовательных технологий.

Электронная информационно-образовательная среда университета с возможностью доступа к информационно- телекоммуникационной сети "Интернет" - Режим доступа: http://www.eios.vsuwt.ru/.

6.4 Современные профессиональные базы данных

№ п/п	Наименование
1	Статистический сборник: Транспорт в России- Режим доступа: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1136983505312
2	Центральная база статистических данных - Режим доступа: http://cbsd.gks.ru/

6.5 Информационные справочные системы

№ п/п	Наименование
1	Справочная правовая система «КонсультантПлюс» - Режим доступа: http://www.consultant.ru (договор от 02.02.2015 г.)
2	Справочная правовая система «Гарант» - Режим доступа: http://www.garant.ru (договор 62/16 от 01.09.2016 г. - бессрочный)
3	Справочная правовая система «КонсультантПлюс» - Режим доступа: http://www.consultant.ru (договор от 02.02.2015 г.)
4	Справочная правовая система «Гарант» - Режим доступа: http://www.garant.ru (договор 62/16 от 01.09.2016 г. - бессрочный)

7. Оценочные и методические материалы

Оценочные и методические материалы, определяющие процедуры оценивания индикаторов, характеризующих этапы формирования компетенций, являются приложением к программе.

№ п/п	Индикатор достижения компетенций	Сфера компетентности (МК ПДНВ)	Контролируемые разделы (темы)	Формы и методы контроля и оценки результатов обучения		Процедура оценивания	Критерии оценивания результата обучения и шкала оценивания			
							2	3	4	5
				Вид контроля	Форма контроля		не зачтено	зачтено		

1	ОПК-3.З.1, ОПК-3.У.1, ОПК-3.В.1		Текущий контроль	Лабораторная работа	Оформленный отчет по лабораторной работе подлежит защите.	Работа выполнена не полностью и объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов: если опыты, измерения, вычисления, наблюдения производились неправильно	Работа выполнена не полностью, но объем выполненной части позволяет получить правильные результаты и выводы, если в ходе проведения опыта, измерений, вычислений и наблюдений были допущены ошибки	Работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов, измерений, вычислений и наблюдений; все опыты проводит в условиях и режимах, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов; в отчете правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления; но допускает несколько недочетов, оформление отчета согласно установленным требованиям; при защите отчета обучающийся ответил в основном на все контрольные вопросы	Работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов, измерений, вычислений и наблюдений; все опыты проводит в условиях и режимах, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов; в отчете правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления; оформление отчета согласно установленным требованиям; при защите отчета обучающийся ответил на все контрольные вопросы

2	ОПК-3.З.1, ОПК-3.У.1, ОПК-3.В.1		Промежуточная аттестация	Итоговый тест	Студент отвечает на вопросы теста в течение 45 мин.н	0-49% правильных ответов	50-69% правильных ответов	70-89% правильных ответов	90-100% правильных ответов

3	ОПК-3.З.1, ОПК-3.У.1, ОПК-3.В.1		Промежуточная аттестация	Дифференцированный зачет	Студент готовится к ответу на вопросы в течение 20 мин.	Обучающийся показывает незнания основного учебного материала, допускает принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий, не знаком с рекомендованной литературой, не может исправить допущенные ошибки	Обучающийся показывает знания основного учебного материала в минимальном объеме; справляется с выполнением заданий, предусмотренных программой, допуская при этом большое количество не принципиальных ошибок; знаком с литературой, рекомендованной программой	Обучающийся показывает достаточный уровень знаний в пределах основного учебного материала, без существенных ошибок выполняет предусмотренные в программе задания; усвоил литературу, рекомендованную в программе; способен объяснить взаимосвязь основных понятий при дополнительных вопросах преподавателя	Обучающийся показывает всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, умеет свободно выполнять задания, предусмотренные программой; проявляет творческие способности в понимании, изложении и использовании учебного материала; усвоил рекомендованную литературу; может объяснить взаимосвязь основных понятий в их значении для последующей профессиональной деятельности

Комплект заданий для лабораторных работ

ОПК-3. Способен проводить измерения и наблюдения, обрабатывать и представлять экспериментальные данные

РАБОТА 1. МАКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ

Цель работы: изучить методики макроструктурного анализа и исследовать макроструктуры и макродефекты металла.

1. Теоретическая часть

1.1. Общие сведения

Макроструктурным анализом (макроанализом) называют метод исследования строения и различных дефектов металла невооруженным глазом или лупой при небольших увеличениях (до 30…50 раз) на специально обработанных образцах-макрошлифах (темплетах), а также по изломам металла.

Вся предшествующая обработка (выплавка, разливка, горячая пластическая деформация, термическая обработка, сварка), которой подвергается металл, определяет макроструктуру и характер излома. По характеру макроструктуры или излома можно судить о качестве детали, макродефектах (структурная неоднородность, усадочные раковины, пузыри, шлаковые включения), о способе получения заготовок (литье или прокат), о неоднородности распределения вредных примесей в металле. Метод макроанализа имеет большое значение в производстве; его широко применяют для контроля качества слитков, проката, штамповок, деталей, подвергнутых термической и химико-термической обработке, для определения глубины закаленного слоя, контроля качества сварных швов, заклепочных соединений.

Макроструктура металла выявляется химическим травлением поверхности макрошлифа реактивами. Выбор реактива зависит от цели исследования и материала.

Контроль макроструктуры и изломов стали, регламентация макроструктуры и допустимых макродефектов углеродистой и легированной конструкционных и инструментальных сталей предусмотрены в ГОСТ 10243-75 «Сталь. Методы испытаний и оценки макроструктуры».

Влияние макроструктуры или характера излома на свойства металла так значительно, что во всех соответствующих ГОСТах (стандартах на марки, химический состав, механические свойства сталей и других сплавов) указаны методы контроля макроструктуры.

1.2. Макростроение литого металла

В производственных условиях при получении слитка расплавленная сталь отливается в земляные, песчано-глинистые и металлические формы. Металл в форме обычно затвердевает не сразу во всем объеме, а по отдельным зонам.

Кристаллизация жидкого металла начинается у холодных стенок формы (рис. 1.1). Здесь металл в первую очередь переохлаждается ниже равновесной температуры кристаллизации и образуется большое количество мелких кристаллов (мелкозернистая корка — 1). Ориентация кристаллов в этой зоне разнообразна, так как на их направление существенное влияние оказывают мельчайшие неровности, имеющиеся на внутренних стенках формы.

Образование первой кристаллизационной зоны способствует прогреву стенок формы, что уменьшает скорость отвода тепла от внутренних слоев металла. Степень переохлаждения в этот момент существенно уменьшается, и из ограниченного числа центров кристаллизации развиваются крупные кристаллы. Известно, что наиболее благоприятные условия для роста кристаллов создаются в направлении отвода тепла. Так как в этот момент времени тепло отводится преимущественно в направлении, перпендикулярном стенкам изложницы, то образующиеся кристаллы будут вытянуты. Таким образом в слитке образуется вторая зона — столбчатых дендритных* кристаллов 2.

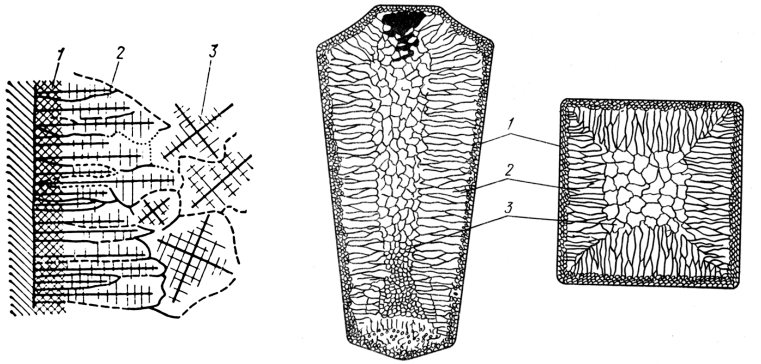


Рис 1.1 Строение стального слитка
1 – зона мелких кристаллов; 2 – зона столбчатых кристаллов (дендритов);
3 – зона крупных равноосных кристаллов

* Дендрон (греч.) — дерево.

Строение дендрита, показано на рис. 1.2. Согласно рисунку, дендрит состоит из «ствола» (ось первого порядка), от которого идут «ветви» (оси второго и последующего порядков).

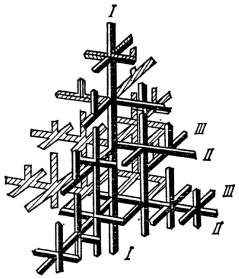


Рис. 1.2 Схема дендрита
I – ось первого порядка;
II – ось второго порядка;
III – ось третьего порядка

Дендритная макроструктура является характерным признаком литого состояния металла.

По мере роста столбчатых кристаллов с увеличением толщины затвердевшего слоя скорость охлаждения жидкого металла внутренней зоны становится практически одинаковой во всех направлениях, направленный рост кристаллов прекращается и растут равноосные кристаллы 3.

В зависимости от размеров слитка, различной скорости охлаждения, степени перегрева и химического состава отдельные зоны могут отсутствовать. В некоторых условиях зона столбчатых кристаллов (дендритов) может занять все сечение (включая и центр) слитка.

Таким образом, в отливке образуются *три структурные зоны*: 1 — мелкозернистых, 2 — столбчатых и 3 — равноосных кристаллов.

При кристаллизации слитков, вследствие уменьшения объема при переходе металла из жидкого состояния в твердое, в верхней части (она затвердевает последней) образуется усадочная раковина.

Неоднородность кристаллического строения в различных зонах отливок представляет собой *дендритную неоднородность*, а несплошности металла (усадочные раковины, поры, газовые пузыри, шлаковые включения) — *физическую неоднородность* литого металла.

Кроме этого, процесс кристаллизации сопровождается возникновением *химической неоднородности — ликвации*.

Причинами возникновения ликвации являются: последовательный характер кристаллизации (от стенки к центру) отливки, а также разная температура кристаллизации различных компонентов сплава. При кристаллизации в наружных зонах и в осях дендритов всегда кристаллизуется наиболее чистый — тугоплавкий компонент сплава (например, железо в стали), а легкоплавкие (сера, фосфор и их соединения с железом), затвердевающие в последнюю очередь, обогащают межосные пространства дендритов (*дендритная ликвация*), и центральную часть слитка (*зональная ликвация*). Ликвация — нежелательное явление. Так, существенная зональная ликвация серы может привести к появлению «горячих» трещин, образующихся при нагреве заготовки («горячеломкость»). Так как примеси серы имеют низкую температуру плавления и располагаются по границам зерен, то при нагреве они расплавляются, что и приводит к появлению трещин.

Дендритная, физическая и химическая неоднородности существенно снижают механические свойства литого металла.

1.3. Макроструктура горячедеформированного металла

Для повышения однородности структуры и свойств металла и получения полуфабрикатов определенной формы и размеров (листовой, сортовой, профильный прокат, штамповки, поковки) слитки подвергают горячей обработке давлением (прокатке, ковке, штамповке, прессованию*). Горячедеформированный металл имеет характерную волокнистую структуру*. Образование волокнистой структуры связано с деформацией дендритной структуры. Оси дендритов вытягиваются и поворачиваются в направлении деформации (рис. 1.3), примеси при этом располагаются вдоль осей дендритов.

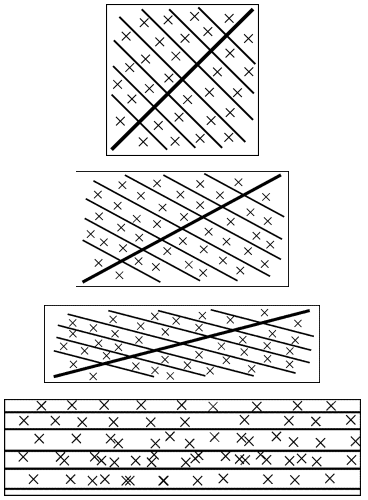
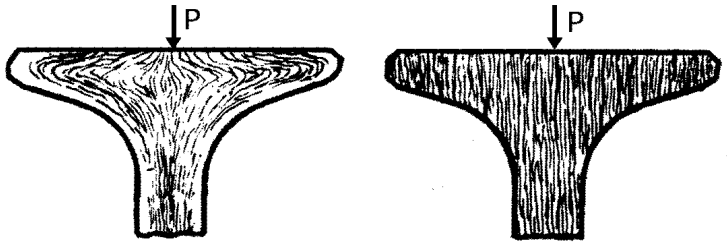


Рис. 1.3 Схема образования волокнистого строения

Механические свойства (особенно ударная вязкость) *вдоль и поперек волокон неодинаковы — вдоль волокон меньше, чем поперек*. Это объясняется тем, что неметаллические включения, расположенные вдоль волокон, отличаются меньшей вязкостью. Поэтому желательно, чтобы прилагаемая нагрузка с направлением волокна всегда составляла угол в 90^O. Поэтому детали, полученные ковкой, штамповкой, горячей высадкой будут работать надежнее, чем детали, полученные точением из проката (сравните рис. 1.4 - а и 1.4 - б).



а) б)

Рис. 1.4 Макроструктура клапана ДВС
а) полученного горячей высадкой
б) полученного точением из проката

Основные дефекты горячедеформированного металла: грубое волокнистое строение, расслоения, надрывы, трещины, волосовины.

2. Исследовательская часть

2.1. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с макроструктурой и макродефектами по коллекции макрошлифов и изломов, имеющейся в лаборатории. Образцы просмотреть, определить характерную макроструктуру или вид макродефекта, зарисовать.

2. Приготовить макрошлиф. Для этого дается образец, предварительно обработанный на токарном или фрезерном станке. Его нужно подвергнуть шлифованию. Начинают шлифование бумагой с грубым абразивом №60 и затем переходят постепенно на бумагу с более тонким абразивом, заканчивают шлифование на бумаге номер №120…140. При переходе с одного номера бумаги на другой направление шлифования меняют на 90^O и шлифуют до полного исчезновения рисок от предыдущего шлифования. После шлифовки образец обезжиривается — протирается ваткой, смоченной спиртом.

3. Исследовать ликвацию серы методом Баумана (получение серного отпечатка). Засвеченную фотобумагу, предварительно смоченную в 4%-ом растворе H_2SO_4 в воде, накладывают на подготовленный макрошлиф и держат (2…3) мин, поглаживая ее, но не сдвигая относительно шлифа. Затем бумагу снимают и промывают в воде, фиксируют (5…6) мин в гипосульфите и снова промывают водой.

Сера находится в стали в виде сульфидов FeS и MnS. При наложении фотобумаги начинают происходить реакции:

$$1.\ FeS + H_2SO_4 = H_2S + FeSO_4 \downarrow$$

$$\left(MnS + H_2SO_4 = H_2S + MnSO_4\right)$$

$$2.\ H_2S + 2\,AgBr = Ag_2S + 2\,HBr \uparrow$$

Сероводород взаимодействует с эмульсией фотобумаги. Образующийся на фотобумаге Ag_2S имеет темно-коричневый цвет. Таким образом, в тех местах шлифа, где есть сера, на фотобумаге появляются темные пятна. По расположению их можно судить о наличии или отсутствии ликвации.

4. Исследовать волокнистое строение нескольких образцов методом Гейна (поверхностное травление).

Приготовленный макрошлиф погружается на (2…3) мин в реактив Гейна, состоящий из 85 г $CuCl_2$ и 53 г NH_4Cl растворенных в 1 л H_2O. При этом происходит обменная реакция между ионами *Fe*, находящимися на поверхности, и ионами *Cu* в растворе. В результате шлиф покрывается налетом меди. В участках шлифа, где имеются примеси, медь оседает менее интенсивно, и эти места протравливаются хлористо-аммонийной солью. После промывки шлифа под потоком воды (удаления слоя меди) на поверхности видны темные и светлые участки, соответствующие распределению волокон в металле. По характеру расположения волокон можно судить о способе изготовления детали (ковка, штамповка или обработка резанием).

5. Исследовать качество сварного шва. Подготовленный макрошлиф сварного шва погружается на (5…6) мин в раствор Гейна. Слой меди, выделившейся на поверхности, смывается под потоком воды, затем поверхность макрошлифа протирается спиртом, высушивается. После травления на поверхности макрошлифа отчетливо видны две зоны — зона основного и зона наплавленного металла. Дефектные места (непровар, раковины, ликвационные участки, шлаковые включения) окрашиваются в темный цвет. Около наплавленного металла иногда видна зона термического влияния в виде более темных участков по сравнению с наплавленным металлом.

2.2. Содержание отчета по работе

1. Название, цель работы.
2. Основные понятия и определения (макроанализ, цели макроанализа, этапы приготовления макрошлифа)
3. Схематичное изображение стального слитка (первая, вторая и третья кристаллические зоны, усадочная раковина, усадочные поры и раковины).
4. Определение ликвации, причины образования ликвации.
5. Краткое описание, сущность и назначение методов Баумана и Гейна.
6. «Серная фотография» с выводом о наличии или отсутствии ликвации; две детали, вывод о способе предшествующей обработки каждой детали; схематическое изображение строения сварного шва, обозначение макродефектов.
7. Самостоятельно (по учебнику) изучите отличия в строении слитков кипящей, спокойной и полуспокойной сталей.
8. Выводы по работе.

3. Контрольные вопросы

1. Основные задачи макроанализа, его значение.
2. Что такое ликвация, причины ее появления и влияние на свойства металла?
3. Назвать виды неоднородностей в отливках, объяснить причины их возникновения.
4. Как по макроструктуре на шлифе отличить металл литой и горячедеформированный?
5. Каковы свойства металла вдоль и поперек волокон? Какой способ изготовления изделий приводит к лучшему качеству и свойствам детали (литье, ковка, обработка резанием)? Объясните почему.
6. Какие методы выявления макроструктуры, ликвации, волокнистого строения вам известны? Охарактеризуйте коротко эти методы.
7. Какие факторы определяют характер кристаллической структуры отливки (слитка)?
8. Что называется раскислением? Чем обусловлено различие в строении спокойной, кипящей и полуспокойной стали?
9. Какие макродефекты металла Вам известны?

РАБОТА 2. МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ

Цель работы: ознакомиться с устройством металлографического микроскопа, работой на нем и получить практические навыки при исследовании металлов при микроанализе.

1. Теоретическая часть

1.1. Общие сведения

Микроструктурным анализом (микроанализом) называют *метод исследования металлов и сплавов с помощью оптических металлографических микроскопов*, дающих увеличения от ×60 до ×2000.

С помощью методов микроанализа возможно решение *следующих задач*:

определение формы и размера зерна, характер их взаимного расположения; выявление фазового и/или структурного состава сплава;

определение количества, размеров, взаимного расположения неметаллических включений (например, сульфидов и оксидов в сталях или графита в чугунах);

выявление характера предшествующей обработки металла или сплава (термообработка, пластическая деформация и т.д.).

Микроанализ широко используется и на производстве, как метод контроля качества металлической продукции, а также для контроля технологических процессов обработки металлов.

1.2. Методика исследования при микроанализе

Объектом исследования при микроанализе являются микрошлифы — специальные образцы небольших размеров (цилиндры или кубики сечением и высотой 10…12 мм), вырезаемые из требуемой для изучения части детали, слитка или других изделий из металла.

Оптический металлографический микроскоп работает в отраженном свете. Это значит, что свет, идущий от источника, прежде чем попасть в окуляр микроскопа, *должен отразиться от поверхности микрошлифа*. Таким образом, поверхность микрошлифа должна быть во-первых *плоской*, и во-вторых — *зеркальной*.

Для создания такой поверхности необходимы следующие *основные операции подготовки микрошлифа*:

1) вырезка и торцовка образца на плоскую поверхность (ножовкой или на токарном, фрезерном станках);

2) шлифование ведется на специальных шлифовальных станках — вращающихся плоских кругах, покрытых шлифовальной бумагой. Начинают шлифование на бумаге с грубым абразивом и постепенно переходят на бумагу с более тонким абразивом. При переходе с одного номера бумаги на другой направление шлифования меняют на 90^{O} и шлифуют до полного исчезновения рисок от предыдущего шлифования;

3) полирование производится также на вращающемся круге, покрытом мягким сукном или фетром. При полировании добавляются специальные жидкости или пасты, содержащие мельчайшие твердые частицы (окись хрома, окись алюминия, алмазная пыль), которые срезают тонкие слои металла и доводят поверхность до зеркального блеска.

Полированный микрошлиф виден под микроскопом как светлое пятно, так как от него все лучи будут отражаться в одном направлении — в окуляр микроскопа (рис. 2.1 - а).

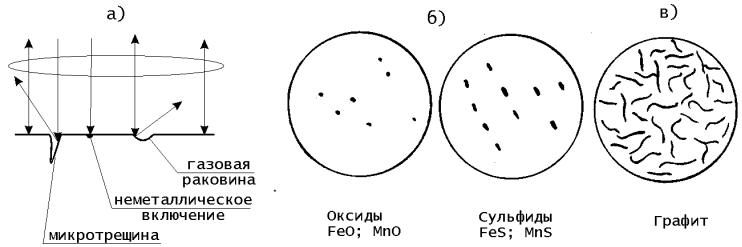


Рис. 2.1 Схема отражения лучей от поверхности полированного микрошлифа (а), характерный вид микрошлифа стали (б) и чугуна (в)

Однако, в случае, если на поверхности микрошлифа встречаются трещины, газовые поры и неметаллические включения, свет будет либо рассеиваться и поглощаться, либо отражаться под другим углом. В таком случае свет не попадает в окуляр микроскопа, т.е. в месте наличия дефектов и неметаллических примесей в окуляре будет наблюдаться темные пятна. Характерный вид полированного микрошлифа стали показан на рис.2.1 – б, чугуна — на рис.2.1 – в.

Таким образом, на поверхности полированного микрошлифа наблюдаются микродефекты (трещины, раковины, поры) *и неметаллические включения* (сульфиды, оксиды, графит).

Для выявления микроструктуры металла или сплава полированный микрошлиф *необходимо подвергнуть* еще одной операции, которая называется "*травление*". Травление производится путем воздействия на поверхность микрошлифа каких-либо реактивов, представляющих обычно раствор кислоты в спирте или воде. Реактивы для травления подбираются экспериментально. Для сталей, чугунов, и целого ряда других металлов часто используют реактив "Ниталь" — 4-5%-ый раствор HNO_3 в воде или спирте.

Каждая фазовая составляющая сплава имеет свой собственный электродный потенциал и при погружении микрошлифа в реактив фазы сплава выступают в роли микроскопических анодов и катодов, а реактив — в роли электролита. Таким образом, в процессе травления поверхность микрошлифа становится многоэлектродным микрогальваническим элементом. Фазы и границы зерен, которые играют роль анодов растворяются и дают углубления, а фазы, являющиеся катодами — остаются неизменными и образуют выступы. Таким образом, *после травления поверхность микрошлифа* не будет зеркальной и гладкой, а *будет представлять собой микрорельеф, в точности соответствующий микроструктуре сплава*. Лучи от такой поверхности будут отражаться по-разному и в окуляре микроскопа выступы будут видны как светлые, а впадины — как темные пятна. Ход лучей от травленой поверхности микрошлифа и характерные микроструктуры стали после травления показаны на рис. 2.2.

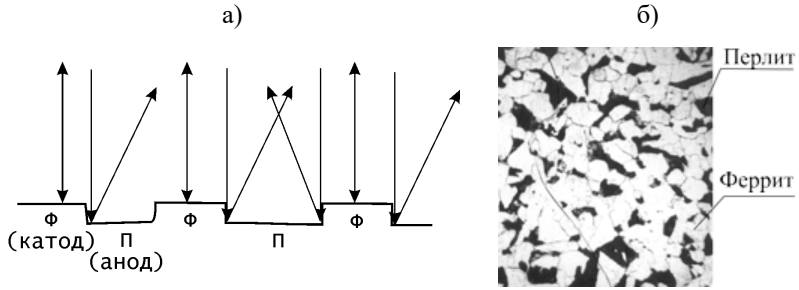


Рис. 2.2 Ход лучей от поверхности травленного микрошлифа (а) и характерная микроструктура стали (б)

1.3. Устройство микроскопа

Для микроанализа металлов и сплавов в настоящее время используется большое количество металлографических микроскопов различных типов и марок. В данной работе используется микроскоп марки МИМ-7. Он имеет увеличение от ×60 до ×1440.

Теоретически возможно получение практически любого увеличения, однако качество микроскопа характеризуется прежде всего его

разрешающей способностью. *Под разрешающей способностью понимается минимальное расстояние, при котором две точки различаются раздельно, не сливаясь в одно пятно*. Разрешающая способность микроскопа прямо пропорциональна длине волны падающего света. Для современных микроскопов $d \approx \lambda$ (d — разрешающая способность, λ — длина волны), то есть теоретическая разрешающая способность оптического микроскопа равняется длине волны света (~0,6 мкм). В случае, когда необходимо выявить атомно-кристаллическое строение металла, нужно использовать иные методы исследования (электронную микроскопию, рентгеноструктурный анализ и т.д.).

В данной работе микроскопы настроены на увеличение ×135.

В микроскопах различают оптическую и механическую системы.

Оптическая система — наиболее важная и сложная. С ее помощью создается увеличенное изображение исследуемых объектов. Основными частями оптической системы являются объектив и окуляр. *Общее увеличение микроскопа равно произведению увеличений объектива и окуляра*. К каждому микроскопу дается набор объективов и окуляров, подбирая сочетания которых, возможно получить требуемое увеличение в указанных выше пределах.

Механическая система микроскопа включает в себя следующие основные части: корпус; осветитель; подвижный предметный столик (в центре столика имеется отверстие для прохождения луча и попадания его на микрошлиф); рукоятки перемещения столика; макровинт (служит для вертикального перемещения стола — таким образом осуществляется грубая наводка на резкость); стопорный винт (для фиксирования положения фокусировки); микрометрический винт (служит для окончательной наводки изображения на резкость).

1.4. Правила работы на микроскопе

Для работы на микроскопе необходимо соблюдать следующую последовательность:

1) включить освещение;

2) отжать стопорный винт;

3) проверить соосность отверстия столика и центра объектива, при необходимость отрегулировать ее с помощью винтов предметного столика;

4) поместить исследуемый микрошлиф на столик;

5) произвести грубую наводку на фокус, для чего плавно опускать или поднимать столик с помощью макровинта до тех пор, пока в окуляре не появится изображение поверхности микрошлифа;

6) застопорить стопорный винт и осуществить окончательную наводку на резкость с помощью микровинта.

НИ В КОЕМ СЛУЧАЕ НЕ ДОПУСКАЕТСЯ !

1) ставить на предметный столик посторонние вещи;

2) водить шлифы по столику, прикасаться пальцами к полированной поверхности микрошлифа;

3) резко вращать рукоятки;

4) вращать макровинт при зажатом стопорном винте;

5) трогать руками поверхности линз;

6) вращать винты и ручки, назначение которых не указано в настоящем методическом указании.

2. Исследовательская часть

2.1. Порядок выполнения работы

1. Изучить устройство микроскопа. Ознакомиться с последовательностью и правилами работы на микроскопе.

2. Исследовать под микроскопом полированные шлифы стали и чугуна до травления. Зарисовать видимую картину, указать увеличение. Начертить отражения лучей от нетравленой (полированной) поверхности микрошлифа.

3. Провести травления микрошлифов и исследовать его после травления под микроскопом. Зарисовать видимое изображение, указать название фазовых и структурных составляющих, увеличение. Начертить схему отражения лучей от травленого микрошлифа.

2.2. Содержание отчета по работе

1. Название и цель работы.

2. Основные понятия и определения (микроанализ, цели микроанализа, этапы приготовления микрошлифа, цель травления).

3. Схематичное изображение хода лучей от поверхности полированного и травленого микрошлифа.

4. Схематичное изображение структуры полированного и травленого микрошлифов стали и чугуна с обязательным указанием общего увеличения микроскопа, фазовых и структурных составляющих.

5. Выводы по работе.

3. Контрольные вопросы

1. Что такое микроанализ, какие задачи решаются с помощью микроанализа? Что называется "микроструктурой сплава"?

2. Каковы основные операции приготовления микрошлифа? Цель полирования.

3. Как представляется поверхность полированного (нетравленого) микрошлифа под микроскопом. Что на ней можно обнаружить?

4. Какова цель травления? Как и чем производиться травление?

5. Объясните схему отражения лучей от микрошлифа после травления.

6. Как определить общее увеличение микроскопа?

РАБОТА 3. ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ Pb-Sb МЕТОДОМ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Цель работы: построение диаграммы состояния сплавов экспериментально (методом термического анализа), исследование закономерностей кристаллизации сплавов.

1. Теоретическая часть

1.1. Диаграмма состояния (общие сведения)

Диаграмма состояния — это графическое изображение фазовых (или структурных) превращений сплавов в зависимости от температуры и концентрации.

По диаграмме состояния можно установить температуру кристаллизации (плавления) сплава, его структуру и т.д. Велико практическое значение диаграмм при разработке режимов литья, горячей обработки металлов, термообработки и т.д.

Диаграмма состояния описывает *равновесные процессы (то есть показывает теоретические температуры плавления и кристаллизации сплава)*, то есть строиться для *очень малых скоростей нагрева или охлаждения*.

Диаграммы состояния строятся экспериментально с помощью различных методов. Наиболее простым и достаточно точным является *метод термического анализа*, разработанный русским ученым Н.С. Курнаковым.

Этот метод основан на явлении "*теплового эффекта*", *заключающегося в том*, что в *момент перехода металла (сплава) из одного фазового состояния в другое*, например, из жидкого в твердое (или наоборот), *происходит значительное выделение (или поглощение) тепла*.

Если произвести наблюдение за изменением температуры сплава при охлаждении (из жидкого состояния) с постоянной скоростью до полного затвердевания и построить кривую охлаждения в координатах температура — время, то *"тепловой эффект" будет виден на этой кривой как перегиб или площадка* (так как выделяющееся в момент фазового перехода тепло частично или полностью компенсирует падение температуры сплава при его охлаждении). Характерный вид кривых охлаждения приведен на рис. 3.1. *Точки, соответствующие перегибам или площадкам*, называются *"критическими точками*", а соответствующие температуры — "*критическими температурами*".

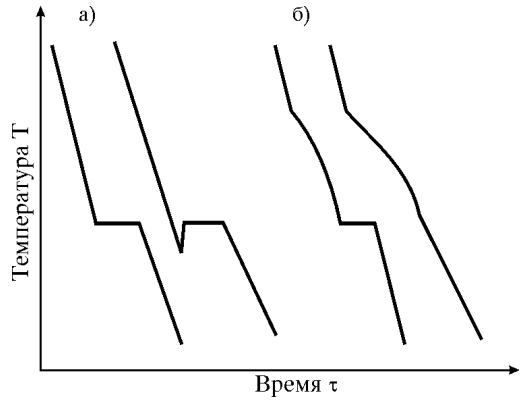


Рис. 3.1 Характерные кривые охлаждения чистого металла (а) и сплава (б)

Таким образом, для экспериментального построения диаграммы состояния термическим методом необходимо построить кривые охлаждения для серии сплавов различной концентрации какой-либо системы, найти на этих кривых критические температуры и перенести их значения на координаты температура — концентрация.

1.2. Методика выполнения исследования

Установка для исследования сплавов и построения кривых охлаждения состоит из 6-ти небольших лабораторных электропечей, в каждую из которых вставлен стальной тигель, заполненный сплавом Pb-Sb, соответствующей концентрации. В каждом из сплавов находится термопара. Холодные спаи термопар подключены к потенциометру, который позволяет регистрировать температуру одновременно

в 6-ти печах и автоматически записать кривые охлаждения сплавов на диаграммной ленте.

Схема установки показана на рис. 3.2.

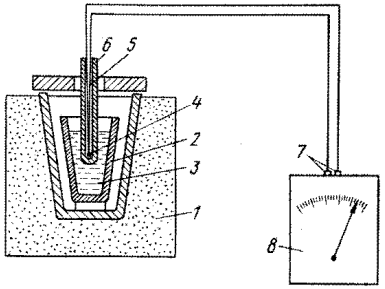


Рис. 3.2 Схема установки для изучения процессов кристаллизации методом теплового эффекта
1 – печь; 2 – тигель;
3 – расплавленный металл;
4 – горячий спай;
5 – термопара; 6 – колпачок;
7 – холодный спай;
8 – гальванометр

Студенты включают автоматическую запись температуры сплава на самописец и выключают печь, в которой находится заданный им сплав. Самописец начинает запись кривой охлаждения, студенты следят за прибором, находят площадки и перегибы на кривой и определяют момент полного затвердевания сплава. Когда кривая зафиксирует охлаждение сплава на 10-15^{O}C ниже температуры полного затвердевания, наблюдение прекращается, самописец выключается.

По полученной кривой охлаждения определяются критические точки заданного сплава и соответствующие им критические температуры, и по этим экспериментальным данным составляется таблица:

Таблица 3.1

Номер сплава	Процент содержания элементов в сплавах, %		Критические температуры	
	Pb	Sb	начала кристаллизации	окончания кристаллизации
1	100%	0%		
2	95%	5%		
3	87%	13%		
4	80%	20%		
5	60%	40%		
6	0%	100%		

По данным таблицы строится диаграмма состояния и анализируются закономерности кристаллизации сплавов.

На группу 2-3 человека выдается комплект из трех микрошлифов сплавов Pb-Sb. Студенты исследуют их под микроскопом, определяют вид сплава (доэвтектический, эвтектический, заэвтектический) и зарисовывают структуры.

1.3. Построение диаграммы состояния по критическим точкам

Диаграмма строится следующим образом: по оси абсцисс откладывается в масштабе процентное содержание исследуемых сплавов (рис. 3.3), а на ординатах, соответствующих этим сплавам, наносятся найденные критические температуры. На ординатах, соответствующих 100% Pb и 100% Sb, откладываются критические температуры чистых металлов. Все верхние критические точки (точки начала кристаллизации) соединяются между собой и образуют линию ликвидус — ACD. Все нижние (точки конца кристаллизации) образуют линию солидус — ECF. В случае небольших отклонений температур линии проводятся как средние между этими отклонениями.

1.4. Закономерности кристаллизации сплавов по диаграмме Pb – Sb (диаграмма состояния I рода)

Основной особенностью в кристаллизации сплавов Pb-Sb является *образование в конце кристаллизации эвтектики*, *представляющей собой тонкую (мелкодисперсную) механическую смесь кристаллов* Pb и Sb, *получающуюся путем* ***одновременной*** *кристаллизации обоих компонентов при* ***постоянной*** *температуре и* ***определенной*** *концентрации*.

Эвтектический сплав обладает самой низкой температурой плавления. Кроме того, температуры начала и конца кристаллизации эвтектического сплава совпадают, то есть его кривая охлаждения будет похожа на кривую охлаждения чистых металлов (наблюдается только одна площадка — рис. 3.3, сплав III).

У сплавов системы Sb-Pb образование эвтектики происходит на линии ECF (солидус) при 246^{O}C, ввиду чего эту линию называют *линией эвтектического превращения*. Состав эвтектики в данной системе равен: 13% Pb и 87% Sb. Соответственно сплав, имеющий этот состав, называют *эвтектическим сплавом*; после затвердевания он имеет структуру эвтектики. Сплавы, имеющие концентрацию менее 13% Sb (а следовательно, более 87% Pb), называется *доэвтектическими*; их кристаллизация, согласно диаграмме, начинается по линии AC с выпадения *кристаллов того компонента, которого в жидкой*

фазе больше, чем в эвтектике, то есть с кристаллов Pb. *На кривой охлаждения* при этой температуре появляется *перегиб* (см. рис. 3.3, сплав II). При понижении температуры количество Pb в жидкости будет уменьшаться (а в твердой фазе — увеличиваться) и *при температуре 246 ^{O}C (линия ECF) состав оставшейся жидкой фазы* (вследствие выпадения избыточного Pb в виде кристаллов) *станет равным 13% Sb и 87% Pb и* происходит окончательная кристаллизация — *образуется эвтектика*.

Таким образом, структура *доэвтектических сплавов будет состоять из кристаллов Pb и эвтектики*.

Сплавы с содержанием Sb > 13% называются *заэвтектическими*. *Их кристаллизация начинается с выпадения кристаллов Sb, избыточных по отношению к эвтектическому составу*, затем идет образование эвтектики, и после окончательного затвердевания *их структура будет состоять из кристаллов Sb + эвтектика* (рис. 3.3, сплавы IV и V).

По диаграмме состояния можно определить *концентрацию компонентов в жидкой фазе* при любой температуре *(первая часть правила отрезков)*. Для этого необходимо провести линию, параллельную оси концентраций (*канода*) до пересечения с линией ликвидус и опустить ее на ось концентраций (рис. 3.5, линии *df* и *ff'*). *Таким образом, процентное содержание Pb в жидкости при температуре 500^{O}C равно ~62%, а Sb ~ 38%.*

Количественное соотношение твердой фазы (избыточного компонента) и жидкости в разных сплавах и при разной температуре различно и может быть определено с помощью *второй части правила отрезков* (рис. 3.3). Для этого проводим каноду при температуре t_1 и отмечаем точки на пересечении каноды с осью температур, концентрационной прямой сплава V и линией ликвидус (соответственно точки *a*, *b* и *c*). Тогда соотношение количества твердой и жидкой фазы будет равно:

$$\frac{Q_{ж}}{Q_{тв}} = \frac{ab}{cb}$$

где $Q_{ж}$ – количество жидкой фазы;

$Q_{тв}$ – количество твердой фазы.

Принимая отрезок *bc* (длина каноды) за 100% сплава, получим:

$$Q_{ж} = \frac{ab}{ca} \cdot 100\%; \quad Q_{тв} = \frac{cb}{ca} \cdot 100\%;$$

Для рассмотренного случая $Q_{ж} \approx 33\%$, $Q_{тв} \approx 67\%$.

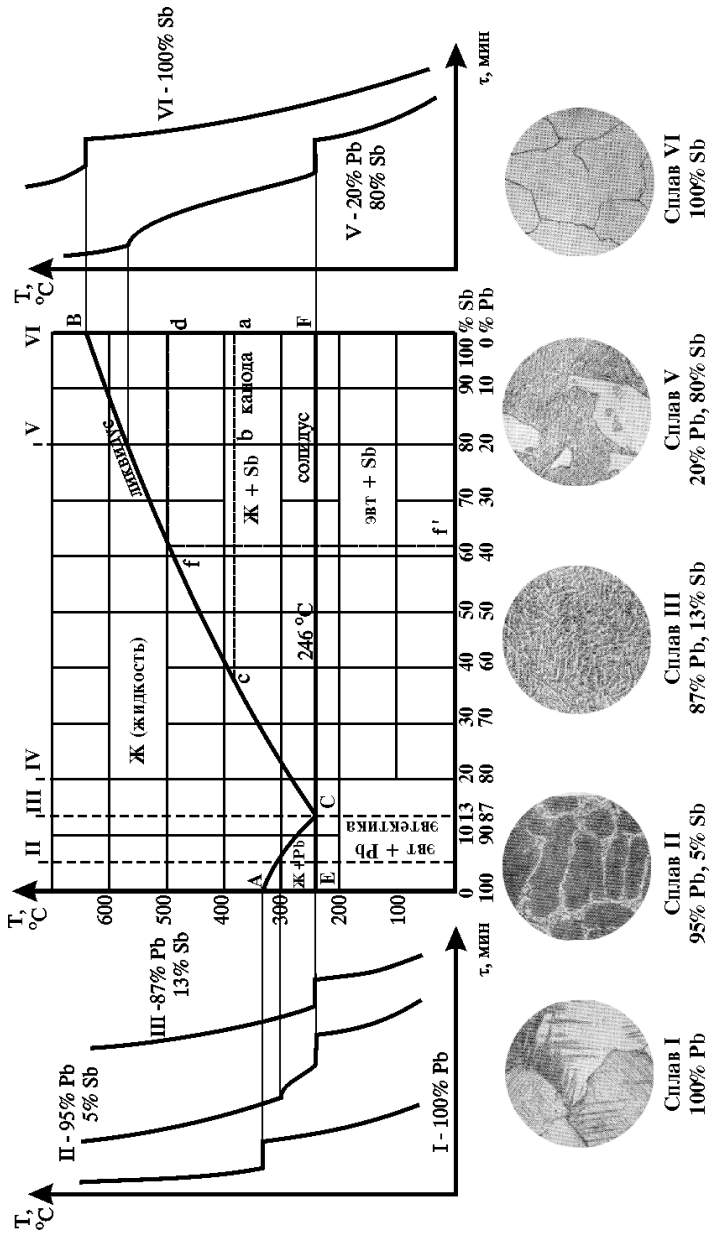


Рис. 3.3 Диаграмма состояния и кривые охлаждения сплавов Pb – Sb

2. Исследовательская часть

2.1. Порядок выполнения исследований

1. Ознакомиться с оборудованием и приборами, используемыми для построения диаграмм состояния методом термического анализа.
2. С помощью метода термоанализа исследовать процесс охлаждения серии сплавов системы Pb-Sb; по данным исследований построить кривые охлаждения и определить критические температуры.
3. По полученным экспериментальным данным построить диаграмму состояния сплавов. Указать на диаграмме и соответствующей кривой охлаждения структурные составляющие сплавов.
4. Исследовать структуры заданных сплавов Pb-Sb под микроскопом и зарисовать их.

2.2. Содержание отчета по работе

1. Название и цель работы.
2. Основные понятия и определения (диаграмма состояния, кривая охлаждения).
3. Протокол исследований (табл. 3.1) и построенная диаграмма состояния.
4. Схематичное изображение структур и кривых охлаждения доэвтектического, эвтектического и заэвтектического сплавов с обязательным указанием общего увеличения микроскопа, фазовых и структурных составляющих сплавов.
5. Выводы по работе.

3. Контрольные вопросы

1. На каком физическом явлении основан метод термоанализа?
2. Для какой цели служит этот метод в металловедении?
3. Что такое кривая охлаждения, критическая точка, критическая температура?
4. Как экспериментально определяются критические точки?
5. Как построить диаграмму состояний системы сплавов, если известны критические точки?
6. Каковы закономерности кристаллизации сплавов по диаграмме?
7. Что такое эвтектика; эвтектическое превращение?
8. Как происходит кристаллизация и каковы структуры сплавов эвтектического, доэвтектического, заэвтектического?
9. Как определить по диаграмме количественное соотношение фаз в сплаве? Для чего служит первая и вторая части правила отрезков?

РАБОТА 4. ДИАГРАММА ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

Цель работы: изучить фазовые превращения, происходящие в железоуглеродистых сплавах в равновесных условиях, фазы и структуры, образующиеся в этой системе сплавов.

1. Теоретическая часть

1.1. Значение диаграммы, ее особенности

Диаграмма железоуглеродистых сплавов имеет большое теоретическое и практическое значение, так как с её помощью изучаются фазовые превращения и структуры двух больших классов сплавов, широко применяемых в технике — сталей и чугунов. Она позволяет проследить как меняются структура сталей и чугунов, в зависимости от содержания в них углерода, а также при нагреве и охлаждении этих сплавов. Диаграмма позволяет также определить критические точки сталей и чугунов, что важно при разработке технологических режимов литья, обработки давлением, термообработки, сварки и т.д.

Общий вид диаграммы представлен на рис. 4.1 – а.

Следует отметить, что изучение диаграммы Fe – C ограничивается концентрацией C=6,67%, так как сплавы с большим содержанием углерода не применяют.

При содержании углерода 6,67% образуется *химическое соединение железа с углеродом* Fe_3C (карбид железа), называемый *цементитом* и принимаемый за второй компонент системы Fe – Fe_3C.

Так как в системе железоуглеродистых сплавов углерод может существовать как в связанном состоянии, т.е. в виде Fe_3C, так и в свободном — в виде графита, существует соответственно две диаграммы: Fe – Fe_3C (метастабильная система), имеющая большее практическое значение и поэтому изображена на рис. 4.1 – а сплошными линиями, и Fe – C (графит), изображенная пунктирными линиями (стабильная система).

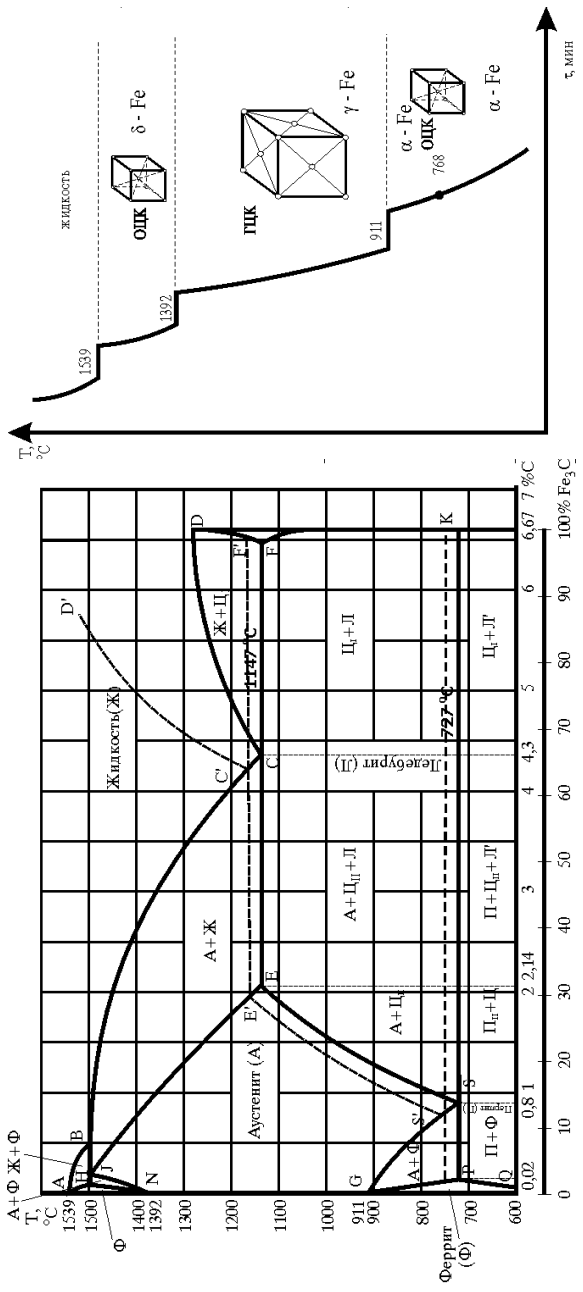


Рис. 4.1 – а Диаграмма Fe-Fe₃C (сплошные линии); Fe-C (штриховые линии)

Рис. 4.1 – б Кривая охлаждения чистого железа

В настоящей работе изучается диаграмма Fe – Fe_3C. Начальная точка оси абсцисс соответствует 100% Fe и 0% C (или 0% Fe_3C), конечная — 6,67% C, т.е. 100% Fe_3C; по оси ординат откладывается температура.

1.2. Характеристика компонентов и фаз диаграммы

Кристаллизуясь (см. рис. 4.1 – б), железо может существовать в *двух* полиморфных (аллотропных) модификациях : Fe_α (α-железо)— от 1539 до 1392 ^{O}C и от 911 ^{O}C и ниже, с *объемно-центрированной кристаллической решеткой (ОЦК)* и Fe_γ (γ-железо) — в интервале температур от 1392 ^{O}C до 911 ^{O}C с *гранецентрированной решеткой (ГЦК).*

Взаимодействуя с углеродом, Fe_α и Fe_γ могут образовывать, во-первых, *ограниченные твердые растворы* и, во-вторых, *химические соединения*. Таким образом, на диаграмме Fe – Fe_3C могут образовываться следующие *четыре фазы*:

1) жидкость (жидкий раствор углерода в железе), существует выше линии ликвидус (ABCD). Обозначается буквой Ж.

2) ограниченный твердый раствор углерода в Fe_γ, то есть $Fe_\gamma(C)$, с максимальной растворимостью углерода 2,14%, при температуре 1147 ^{O}C (т. E). При снижении температуры от 1147 ^{O}C до 727 ^{O}C растворимость углерода в этой фазе уменьшается по линии ES до 0,8% C (т. S). *Эта фаза называется аустенитом (А).* Кристаллическая решетка аустенита показана на рис. 4.2 – а. Аустенит является *высокотемпературной фазой;*

3) ограниченный твердый раствор углерода в Fe_α, то есть $Fe_\alpha(C)$ с максимальной растворимостью углерода, равной 0,025%, при температуре 727 ^{O}C (т. P). При понижении температуры от 727 ^{O}C до комнатной растворимость углерода уменьшается по линии PQ до 0,006%. *Эту фазу называют ферритом (Ф)*. Кристаллическая решетка феррита показана рис. 4.2 – б.

4) химическое соединение железа с углеродом — цементит (Fe_3C — карбид железа), имеющий температуру кристаллизации 1250^{O}C, обладающий сложной ромбоэдрической кристаллической решеткой (рис. 4.2 – в), содержащей при любой температуре 6,67% углерода (остальное — железо). *Так как цементит не взаимодействует, т.е. не растворяет в себе ни железа, ни углерода, то он является одновременно и компонентом системы и одной из фаз сплавов* Fe – Fe_3C.

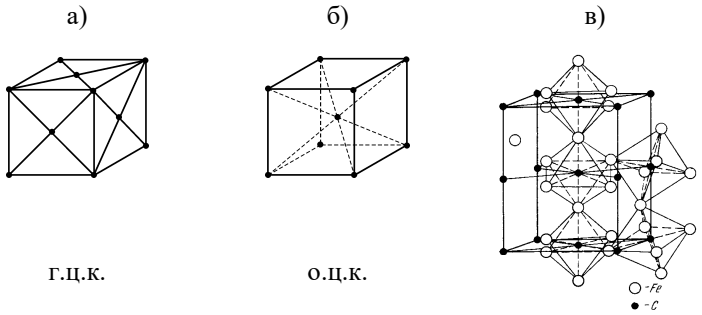


Рис. 4.2 Кристаллические решетки Fe_γ (а), Fe_α (б) и Fe_3C (в).

1.3. Фазовые превращения и формирование структур по диаграмме Fe – Fe_3C

Фазовые превращения, происходящие в системе Fe – Fe_3C, можно подразделить на *первичные* (первичная кристаллизация — переход из жидкого состояния в твердое) и *вторичные* (перекристаллизации из одного твердого состояния в другое — тоже твердое).

Первичная кристаллизация идет по линиям ACD — ликвидус и AECF — солидус. При температурах, соответствующих линии ACD (начало кристаллизации), из жидкого сплава начинают выделяться кристаллы твердой фазы, и при температурах, соответствующих линии AECF, кристаллизация заканчивается.

В сплавах с содержанием углерода до 4,3% кристаллизация начинается с выделения кристаллов аустенита, а в сплавах с содержанием углерода более 4,3% — кристаллов цементита.

В сплавах, содержащих углерода до 2,14% (в сталях), первичная кристаллизация заканчивается на участке линии солидус AE и в результате стали получают однородную структуру — аустенит $Fe_\gamma(C)$.

При охлаждении сплавов с содержанием углерода 2,14 - 4,3% в интервале температур от линии ликвидус до линии солидус, вследствие образования аустенита, который в этом интервале температур содержит 2,14%, т.е. меньше, чем начальная концентрация углерода в сплаве, остающаяся часть жидкой фазы обогащается углеродом до концентрации 4,3% при достижении температуры 1147 ^{O}C.

В сплавах, содержащих углерода более 4,3%, вследствие выпадения высокоуглеродистого цементита (C = 6,67%), остающаяся в процессе охлаждения жидкая фаза обедняется углеродом до 4,3% при температуре 1147 ^{O}C.

Таким образом, *во всех сплавах, с содержанием углерода > 2,14%* (правее т. E), *оставшаяся жидкая фаза, при температуре 1147 ^{O}C* (линия ECF) *имеет концентрацию углерода 4,3%*, называемую эвтектической концентрацией (или составом).

Согласно закономерностям кристаллизации по диаграмме с эвтектическим превращением жидкая фаза эвтектического состава должна перейти в твердую фазу — аустенит, но так как состав жидкой фазы — 4,3%, а в аустените при температуре 1147 ^{O}C может раствориться только 2,14% C (т. E), то избыточный углерод (2,3%) расходуется на образование цементита — Fe_3C.

Поэтому *на линии ECF кристаллизация происходит с одновременным выпадением кристаллов аустенита и цементита. Эта механическая смесь называется эвтектикой или ледебуритом; превращение называется эвтектическим; происходит оно у всех сплавов при одной и той же температуре (1147 ^{O}C), и на диаграмме и на кривых охлаждения соответствует горизонтальному участку*.

Формула эвтектического превращения:

$$ECF\ (1147°C): \quad Ж_C \rightarrow A_E + Ц_I = Л_C$$

Обратите внимание, что *эвтектическое превращение происходит только у сплавов с содержанием углерода более 2,14%.* Соответственно *все железоуглеродистые сплавы делятся на стали* (C<2,14%) и *чугуны* (C>2,14%).

Сплавы с содержанием углерода от 2,14% до 4,3% C, называются доэвтектическими; сплав, имеющий 4,3% C — эвтектическим, а сплавы, содержащие углерода более 4,3% — заэвтектическими сплавами.

Вторичная кристаллизация (перекристаллизация в твердом состоянии) происходит по линиям: GS, SE, PSK, PQ, GP.

Она обусловлена существованием полиморфного $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения, а также изменением растворимости углерода в Fe_α и Fe_γ с понижением температуры. Наиболее характерным и важным является наличие эвтектоидного превращения, происходящего по линии PSK (727 ^{O}C). Рассмотрим это превращение.

Аустенит $Fe_\gamma(C)$ устойчив только при высоких температурах. При температурах, соответствующих линии PSK (температура 727^{O}C), начинается перекристаллизация, так как ниже этой линии аустенит существовать не может.

При этом у сплавов, содержащих углерода менее 0,8%, при температурах, соответствующих линии GS, начинается переход аустенита в феррит. *Вследствие выпадения феррита, растворимость угле-*

рода в котором значительно меньше, чем в аустените, последний обогащается углеродом и при температуре 727^{O}C содержание углерода в аустените достигнет 0,8%.

Вследствие того, что растворимость углерода в аустените с понижением температуры уменьшается (линия ES — с 2,14% до 0,8%), то *из аустенита у всех сплавов, лежащих правее точки S* (т.е. имеющих концентрацию углерода > 0,8 %), с понижением температуры от 1147 до 727 ^{O}C *выделяется углерод в виде цементита вторичного, и при температуре 727 ^{O}C, аустенит получает концентрацию углерода, равную 0,8%.*

Таким образом, *у любого сплава*, начиная с содержания углерода более 0,025 % (правее т. Р) на линии PSK (при температуре 727 ^{O}C), *аустенит имеет концентрацию углерода равную 0,8 %, которая называется эвтектоидной концентрацией* (или эвтектоидным составом).

Аустенит эвтектоидного состава при температуре 727 ^{O}C *должен перейти в феррит*, *но* поскольку *в феррите при этой температуре может раствориться только 0,025% углерода, то избыточный углерод* (0,775 %) *расходуется на образование цементита.* Поэтому *превращение на линии PSK происходит с одновременным выпадением кристаллов феррита и цементита, механическая смесь которых называется перлитом, а превращение называется эвтектоидным.*

Формула эвтектоидного превращения:

$$PSK\ (727^{o}C):\quad A_S \rightarrow \Phi_P + Ц_{II} = П_S$$

Эвтектоидное превращение, подобно эвтектическому, происходит при постоянной температуре и на диаграмме и кривых охлаждения соответствует горизонтальной линии.

Таким образом образование эвтектики (ледебурита) и эвтектоида (перлита) объясняется *разной растворимостью углерода в исходной фазе и фазе, которая должна образоваться в результате превращения; избыточный углерод расходуется на образование цементита,* в результате чего и получаются механические смеси: эвтектика и эвтектоид.

Сплавы с содержанием углерода до 0,8% называются доэвтектоидными, а более 0,8 % (до 2,14) называются заэвтектоидными; сплав, содержащий 0,8 % углерода — эвтектоидным.

Предельная растворимость углерода в Fe_{α} составляет 0,025 % при температуре 727 ^{O}C (точка Р).

При дальнейшем охлаждении растворимость углерода уменьшается по линии PQ до 0,006 при комнатной температуре. Избыточный углерод выделяется из феррита ниже температур, соответствующих линии PQ, в виде кристаллов третичного цементита.

У сплавов с содержанием углерода более 2,14 % в результате эвтектоидного превращения ледебурит будет состоять из смеси эвтектоида (перлита) и цементита.

Диаграмма состояния дает возможность дать количественную оценку соотношения фаз в процессе кристаллизации любого сплава, описываемого диаграммой. Для этого применяют правило отрезков.

2. Исследовательская часть

2.1. Порядок выполнения работы

1. По Приложению 1 определить номер варианта, на диаграмме состояния провести линии заданных сплавов с обозначением точек, соответствующих фазовым превращениям, происходящим в сплаве.
2. Разобрать превращения при охлаждении заданных сплавов из области расплава.
3. Построить кривые охлаждения для заданных сплавов.
4. Зарисовать структурные схемы превращений, определить окончательную (при комнатной температуре) структуру сплава и охарактеризовать структурные составляющие.
5. Пользуясь правилом отрезков, рассчитать фазовый состав сплавов при заданной температуре, определить количество углерода в аустените или жидкости.
6. По результатам работы составить отчет.

2.2. Содержание отчета по работе

1. Название и цель работы.
2. Общий вид диаграммы состояния железо-углерод.
3. Описание фаз на диаграмме железо-углерод.
4. Описание основных линий (обозначение на диаграмме, сущность происходящих превращений).
5. Протокол исследований.
6. Выводы по работе.

3. Контрольные вопросы

1. Каково значение диаграммы железо-углеродистых сплавов?
2. В каком состоянии может находиться углерод в системе железо-углеродистых сплавов, к чему это приводит?
3. Какие полиморфные (аллотропные) модификации имеет железо, что они собой представляют и в каких температурных интервалах существуют ?

4. Какие фазы образуются на основе этих модификаций, что собой представляют эти фазы ? Что представляет собой цементит, какова его роль в системе Fe – Fe_3C?

5. Назовите линии первичной кристаллизации по диаграмме Fe – Fe_3C и охарактеризуйте, какие структуры получаются в сплавах в результате первичной кристаллизации: в сплавах до 2,14 % углерода; в сплавах с содержанием углерода от 2,14 % до 4,3 %; в сплавах, где углерода более 4,3 %.

6. Назовите линию эвтектического превращения, ее температуру и образующуюся на ней структуру. Объясните природу происходящих превращений.

7. Назовите линии вторичных превращений и характеризуйте, какие структуры образуются по этим линиям.

8. Назовите линию эвтектоидного превращения, ее температуру и образующуюся на ней структуру.

9. Охарактеризуйте фазовые превращения какого-либо сплава (по заданию преподавателя) по диаграмме Fe – Fe_3C; обозначьте его критические точки; нарисуйте кривую охлаждения.

РАБОТА 5. УГЛЕРОДИСТЫЕ СТАЛИ

Цель работы: изучить микроструктуры и свойства углеродистых сталей в равновесном состоянии, классификацию по назначению, маркировку и их применение в промышленности.

1. Теоретическая часть

1.1. Общие сведения

Сплавы железа с углеродом при содержании углерода до 2,14% называют сталями. Основой сталей является железо (98 - 99,5 %). Углерод, являясь вторым компонентом, влияет на структуру и свойства этих сплавов. В сталях могут находиться и другие элементы; если их количество мало и они являются примесями, сталь называют углеродистой.

1.2. Микроструктура углеродистых сталей

Равновесные структуры стали получаются при медленном охлаждении аустенита и соответствуют диаграмме Fe – Fe_3C. При этом в зависимости от содержания углерода, *стали по структуре классифицируются на следующие группы*:

1) при содержании углерода менее 0,025% сплав называют техническим железом; его микроструктура состоит из зерен феррита. Феррит — $Fe_\alpha(C)$ (рис.5.1 - а) под микроскопом виден в форме светлых зерен — неправильных многоугольников;

2) при содержании углерода выше 0,025% и до 0,8% стали называются доэвтектоидными, их структура состоит из светлых зерен феррита и темных зерен перлита (рис.5.1 - б). При небольшом содержании углерода (например около 0,1%) количество перлита незначительно. *С увеличением же содержания углерода количество перлита возрастает, а феррита — уменьшается*;

3) при содержании углерода 0,8% сталь называется эвтектоидной, ее *структура состоит полностью из перлита*. Перлит, представляющий собой механическую смесь феррита и цементита, может иметь пластинчатое или зернистое строение (рис. 5.1 – в и г);

4) при содержании углерода выше 0,8% и до 2,14% стали называют заэвтектоидными, в их структуре по границам зерен перлита появляется цементит вторичный в виде светлой сетки. Количество цементита вторичного в стали увеличивается с увеличением содержания углерода (рис.5.1 – д).

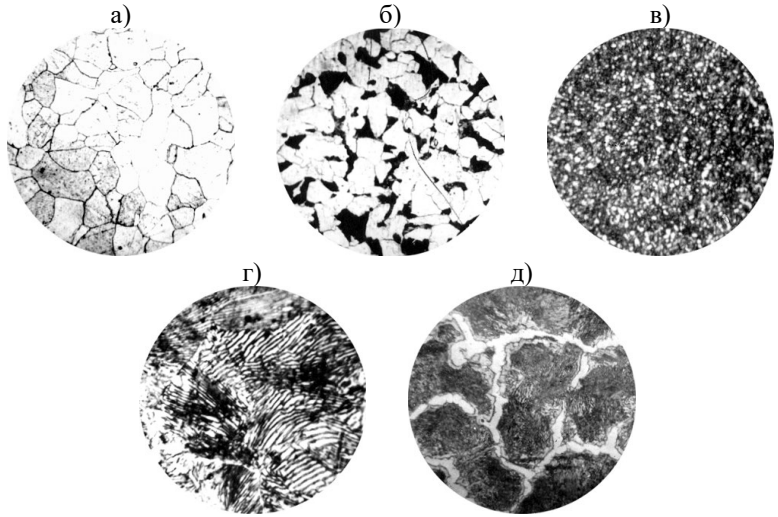


Рис. 5.1 Микроструктура углеродистой стали (х 135)
а) техническое железо (феррит); б) доэвтектоидная сталь (феррит+перлит);
в), г) эвтектоидная сталь (перлит зернистый и пластинчатый);
д) заэвтектоидная сталь (перлит+цементит вторичный)

1.3. Механические свойства

Механические свойства углеродистых сталей в основном зависят от содержания в них углерода. Увеличение содержания углерода приводит к изменению структуры сталей, в частности, к уменьшению количества феррита, увеличению количества перлита и появлению (в заэвтектоидных сталях) цементита вторичного по границам зон перлита.

Каждая из этих структурных составляющих имеет определенные механические свойства: для феррита характерны высокая пластичность (δ, ψ); низкая прочность $(\sigma_в)$ и низкое значение твердости (НВ), для цементита, наоборот, очень высокая твердость, но низкие значения пластичности, он хрупок; перлит, состоящий из мелкодисперсных частиц феррита и цементита, имеет наиболее высокое значение прочности, а пластичность и твердость средние. В таблице 5.1 приведены численные значения механических свойств этих структурных составляющих сталей.

Таблица 5.1

Механические свойства структурных составляющих в стали

Название структуры	Содержание углерода, %	Твердость НВ, МПа	Предел прочности $\sigma_в$, МПа	Относительное удлинение δ, %
Феррит	~ 0	800	300	40
Перлит	0,8	2000	800	10
Цементит	6,67	8000	—	—

Зная количество каждой структурной составляющей и ее механические свойства, можно, пользуясь правилом аддитивности (сложения), приблизительно рассчитать механические свойства стали.

Количество структурных составляющих при этом определяется визуально под микроскопом по площади, занимаемой структурной составляющей, в поле зрения микроскопа. Например, если при рассмотрении структуры 60% площади занимает феррит и 40% — перлит, то механические свойства стали определяются так:

$$HB = \frac{60\% \cdot HB_{(феррита)} + 40\% \cdot HB_{(перлита)}}{100\%} = \frac{60\% \cdot 800 + 40\% \cdot 2000}{100\%} = 1280\ МПа,$$

$$\sigma_в = \frac{60\% \cdot \sigma_{в(феррита)} + 40\% \cdot \sigma_{в(перлита)}}{100\%} = \frac{60\% \cdot 300 + 40\% \cdot 800}{100\%} = 500\ МПа,$$

$$\delta = \frac{60\% \cdot \delta_{(феррита)} + 40\% \cdot \delta_{(перлита)}}{100\%} = \frac{60\% \cdot 40 + 40\% \cdot 10}{100\%} = 28\%.$$

Учитывая, что феррит, перлит и цементит имеют вполне определенное содержание углерода можно, пользуясь тем же правилом, по виду микроструктуры определить содержание углерода в стали. Для рассмотренного примера:

$$C = \frac{60\% \cdot C_{(феррита)} + 40\% \cdot C_{(перлита)}}{100\%} = \frac{60\% \cdot 0 + 40\% \cdot 0{,}8}{100\%} = 0{,}32\ \%,$$

Влияние углерода на механические свойства сталей подтверждается экспериментальным графиком, приведенном на рис. 5.2, из которого следует, что чем больше углерода в стали, тем она тверже, но менее пластична.

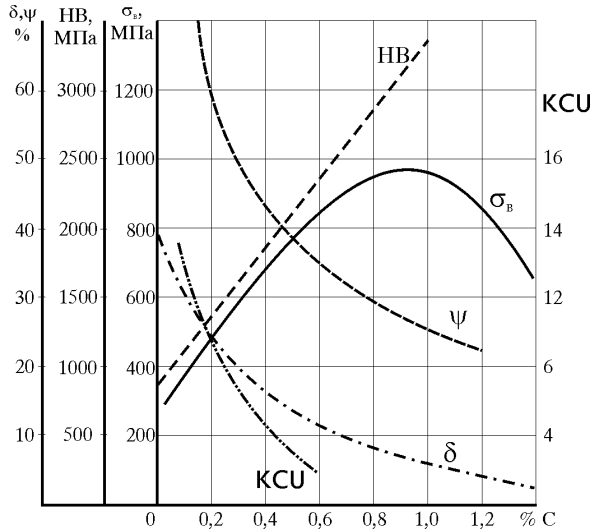


Рис. 5.2 Влияние углерода на механические свойства углеродистых сталей

Прочность у доэвтектоидных сталей возрастает с увеличением в ней углерода, достигает наибольших значений в сталях, с содержанием углерода 0,8 - 1%, а затем, *с* дальнейшим *увеличением углерода снижается*, так как *по границам зерен перлита появляется хрупкий цементит вторичный* (см. рис. 5.1 – д), что и ослабляет сопротивление стали разрыву; твердость при этом продолжает увеличиваться.

1.4. Классификация углеродистых сталей по назначению и их маркировка

По назначению углеродистые стали подразделяются на:

1) конструкционные.

2) инструментальные.

Конструкционные стали — это стали, предназначенные для изготовления различного вида сооружений, конструкций и деталей машин. Основные требования, предъявляемые к этим сталям — хорошая пластичность в сочетании с достаточной прочностью. Следовательно, по содержанию углерода и структуре это доэвтектоидные стали (*углерода до 0,8%*). Конструкционные стали *по содержанию углерода* можно подразделить на три группы:

1. Низкоуглеродистые (строительные стали) содержащие углерода до 0,3%. Эти стали имеют $\sigma_в$ до 400 МПа, δ до 40%, НВ до 1300 МПа и применяются, главным образом, в виде листового, профильного и сортового проката в качестве строительного материала для изготовления конструкций и сооружений методом сварки. К этой группе сталей относятся и корпусные судостроительные стали. Все они обладают хорошей пластичностью.

2. Среднеуглеродистые — содержание углерода 0,3…0,6%. Эти стали имеют $\sigma_в$ от 400 до 800 МПа, δ от 20 до 25% и НВ — от 1400 до 2000 МПа. Применяются в виде сортового и листового проката, штамповок и поковок в качестве машиностроительных сталей для изготовления деталей машин. Как правило, подвергаются упрочняющей термической обработке.

3. Высокоуглеродистые — содержание углерода 0,6…0,8%. Могут применяться для изготовления рессор и пружин. После термической обработки имеют высокую твердость, прочность и предел упругости.

В металлургии сталь производят (выплавляют) различными методами (мартеновский, конвертерный, электрошлаковый переплав, вакуумно-индукционный переплав и т.д.). Естественно, что *в зависимости от принятого способа изготовления стали будут различаться* как *по химическому составу*, так *по свойствам* (качеству). Согласно действующим стандартам, различают *конструкционные стали обыкновенного качества, качественные и высококачественные.*

Стали обыкновенного качества получают мартеновским, конвертерным и бессемеровским методом. Свойства этих сталей гарантируются ГОСТ 380-71. Данные стали маркируются значком *Ст (никакие другие стали значком Ст не обозначаются*) и цифрой от 0 до 6. Эта цифра показывает группу прочности стали — чем больше номер, тем выше прочность, но ниже пластичность[*].

В соответствии с ГОСТ 380-71 предусматривается поставка сталей трех групп:

*группа **А***. Если сталь используется для изделий, которые не подвергают горячей обработке (сварке, ковке и т.д.), то структура и свойства, которые сталь получила при выходе из прокатного цеха металлургического завода, сохраняются и у потребителя. В этом случае стали поставляют потребителю только по механическим свойствам. Химический состав сталей не гарантируется;

*группа **Б***. Если сталь у потребителя будет подвергаться горячей обработке (ковке, штамповке и т.д.), то исходные структура и механические свойства не сохраняются. В таком случае для потребителя основное значение имеет прежде всего химический состав стали, так как именно им в первую очередь определяется режим горячей обработки и свойства стали. В этом случае сталь поставляется потребителю только по химическому составу.

*группа **В***. Если сталь у потребителя подвергается сварке, то в зоне термического влияния сварного шва свойства металла меняются. В таком случае потребителю необходимо знать химический состав стали. Одновременно необходимо знать и исходные свойства, так как те части изделий, которые не подвергали сварке, сохраняют свои свойства. Металл в таком случае поставляют и по химическому составу и по механическим свойствам.

Группа стали (буква А, Б или В) указываются перед значком Ст.

Кроме того, после марки, ставят условное обозначение *способа раскисления стали:*

кп — кипящая сталь (раскислена только Mn);

пс — полуспокойная (раскислена Mn+Al);

сп — спокойная (раскислена Mn+Al+Si).

Кипящая сталь, по сравнению со спокойной, содержит больше кислорода и азота (хуже раскислена), полуспокойная — занимает промежуточное положение и применяется вместо кипящей и спокойной сталей.

Марки конструкционных сталей обыкновенного качества: *Ст0, Ст2, БСт3кп, ВСт5сп* и т.д.

Конструкционные углеродистые качественные стали (ГОСТ 1050-85) выплавляются в мартеновских и электрических печах и от-

---

[*] Запомните, что *в сталях обыкновенного качества цифры показывают не содержание углерода, а группу прочности. Для определения приблизительного содержания углерода группу прочности необходимо умножить на 0,07*

личаются пониженным содержанием серы и фосфора. Эти стали маркируются только цифрами, указывающими среднее содержание углерода в сотых долях процента (например, марки *05; 08; 10, 60* содержат углерода, соответственно 0,05%, 0,08%, 0,10% и 0,60%). У конструкционных качественных сталей с повышенным содержанием марганца (до 1-1,2%) в конце марки ставится буква *Г* (например, марки *65Г2* и *70Г*).

Качественные стали могут быть также спокойными, кипящими и полуспокойными (марки *05пс, 15 кп, 25сп* и т.д.).

Инструментальные стали — используются при изготовлении различного вида инструмента (режущего, штампового, мерительного). Так как эти стали большей частью работают на истирание, испытывают большие удельные нагрузки, наиболее важным свойством их должна быть высокая твердость в сочетании с прочностью (пластичность понижена). Как известно, такими свойствами обладают высокоуглеродистые стали, содержащие углерода 0,7-1,3%, т.е. по структуре в основном эвтектоидные и заэвтектоидные. Инструментальные углеродистые стали, согласно ГОСТ 1435-74, обозначаются буквой У и цифрой, показывающей среднее содержание углерода в десятых долях процента; это марки *У7, У8, У12*.

В случае, если в конце марки стоит буква *А*, то это обозначает, что *сталь высококачественная* (содержание S и P — минимально). Марки высококачественных сталей: *45А, 60ГА, У8А, У8ГА, У12А* и т.д.

Более подробно назначение и области применения сталей различных марок описаны в таблице 5.2.

Таблица 5.2

Назначение углеродистых сталей некоторых марок

Марки стали	Примерное назначение
Конструкционные стали обыкновенного качества	
Ст 0	Листовой и сортовой прокат для строительных конструкций неответственного назначения, арматура
Ст 1	Анкерные болты, жесткие связи
Ст 2	Заклепки, листы, трубы
Ст 3	Сортовой и листовой прокат для строительных конструкций мостов и др.
Ст 4	Малонагруженные болты, гайки, шайбы. Детали строительных конструкций.
Ст 5	Различные детали машин, подвергаемые воздействию средних напряжений: валики, оси, рычаги, болты, гайки.
Ст 6	Детали, требующие повышенной прочности: оси, валы, шестерни, шпиндели, применяются после термической обработки (группа Б)

Продолжение таблицы 5.1

Качественные углеродистые стали	
05кп, 08кп, 08, 10кп, 10	Для деталей с высокой пластичностью — трубки, прокладки, шайбы, тонкие листы, штампуемые в холодном состоянии с глубокой вытяжкой
10, 10кп, 15, 15кп, 15Г	Цементуемые и цианируемые детали, не требующие высокой прочности сердцевины (болты, гайки, винты, рычаги). детали малонагруженные (болты, стяжки и др.). Стали обладают хорошей свариваемостью.
20, 20кп, 20Г, 25, 25Г	То же, что и стали 10, 15, но прочность несколько выше. Тяги, траверсы, испытывающие невысокие напряжения и требующие значительной вязкости
30, 35, 30Г, 35Г	Оси, валы, муфты, болты, винты и др. детали, испытывающие небольшие напряжения. Применяется в нормализованном состоянии, пригодна для сварки.
40, 45, 40Г, 45Г	Стали отличаются более высокой, чем сталь 35, прочностью и средней вязкостью. Применяется как после нормализации, так и в улучшенном состоянии: фланцы, диски сцепления, шатуны, шестерни, коленчатые и распределительные валы и т.д.
50, 55, 50Г	Стали обладают высокой прочностью и применяются после нормализации или закалки с высоким отпуском (улучшения): шестерни, штоки, валы, ленточные пружины, прокатные валки.
60, 65, 70, 75, 80, 85, 60Г, 65Г, 70Г	Стали обладают высокими прочностными и упругими свойствами, особенно после термообработки. Крупные детали возможно применять и нормализованном состоянии. Применяется для изготовления таких деталей, как оси, эксцентрики, шпиндели, пружинные кольца, клапанные пружины, пружины амортизаторов, рессоры. Специфическими условиями термообработки рессор и пружин является применение после закалки среднего отпуска, обеспечивающего наилучшее сочетание упругих и прочностных свойств.
Углеродистые инструментальные стали	
У7	Для инструмента, подвергающегося ударам и толчкам, требующего умеренной твердости, при наличии достаточной вязкости (зубила, кузнечные штампы, слесарный инструмент, клейма, топоры, колуны).
У8	Для инструмента, подвергающегося ударам, требующего хорошей вязкости при высокой твердости (пуансоны, матрицы, ножницы и ножи по металлу, столярный и пневматический инструмент)

Продолжение таблицы 5.1

У9, У10, У11	Для инструмента, не подвергающегося сильным ударам, но требующего высокой твердости и некоторой вязкости (например металлорежущий инструмент — сверла, метчики, плашки, развертки, резцы, фрезы, а также медицинский, деревообделочный и бурильный инструмент)
У12, У13	Для инструмента с максимальной износостойкостью и твердостью — различный металлорежущий и мерительный инструмент, граверный и волочильный инструмент, бритвы, зубила для насечки напильников.

Примечание: Углеродистые стали с содержанием углерода *более*, чем *1,3%*, ввиду низкого предела прочности, в современном машиностроении *не применяются*

2. Исследовательская часть

2.1. Порядок выполнения работы

1. Исследовать под микроскопом комплект шлифов, зарисовать микроструктуры с указанием увеличения и структурных составляющих.

2. Определить:

2.1. Назначение стали (конструкционная или инструментальная) по структурному признаку;

примерное количество структурных составляющих;

2.2. Рассчитать содержание углерода и механические свойства; данные свести в табл. 5.3:

Таблица 5.3

Протокол исследований

№ шлифа	Примерное кол-во структурных составляющих, %	Примерное содержание углерода, %	Марка стали	Механические свойства		
				$\sigma_в$, МПа	δ, %	HB, МПа
1						
2а						
2б						
3						
4						
5						

2.3. Построить график изменения механических свойств в зависимости от содержания углерода.

3. Сделать выводы и определить примерную область применения исследованных сталей.

4. Составить отчет.

2.2. Содержание отчета по работе

1. Название и цель работы.

2. Определение сталей.

3. Классификация сталей по структурному признаку, назначению, качеству, содержанию углерода, маркировка сталей.

4. Эскизы структур с обязательным указанием общего увеличения металлографического микроскопа, фазовых и структурных составляющих.

5. Протокол исследований (табл. 6.3) и построенные графики $\sigma_в = f(C)$, $\delta = f(C)$, $HB = f(C)$, где С — содержание углерода в стали, %.

6. Выводы по работе.

3. Контрольные вопросы

1. Как изменяется структура сталей с повышением содержания в них углерода?

2. Как классифицируются стали по структурному признаку? Назовите характерные признаки структур каждой из групп сталей и содержание в них углерода.

3. Как изменяются механические свойства сталей с повышением содержания углерода? Свяжите эти изменения свойств с изменением структуры.

4. Как классифицируются углеродистые стали по назначению. Для чего они применяются?

5. Как маркируются конструкционные и инструментальные стали по ГОСТ?

6. По заданию преподавателя приведите примеры некоторых марок сталей и их применение в технике.

РАБОТА 6. ЧУГУНЫ

Цель работы: изучить виды чугунов, их микроструктуру, свойства, маркировку, способы получения и применение в машиностроении.

1. Теоретическая часть

1.1. Общие сведения

Чугун представляет собой сплав железа с углеродом при содержании углерода более 2,14%. Технические чугуны являются сложными сплавами, содержащими, кроме железа и углерода, обязательные примеси кремния, марганца, серы и фосфора в количествах, больших, чем в стали. Эти примеси оказывают существенное влияние на процесс структурообразования чугунов и их свойства.

Чугун имеет чрезвычайно большое значение для судового машиностроения и судостроения. Механические свойства чугуна приближаются к свойствам сталей и, в то же время, чугун обладает лучшими литейными свойствами, легче обрабатывается резанием и более дешев в производстве. Чугун лучше, чем сталь, сопротивляется износу, нечувствителен к надрезам, устойчив при вибрации. Эти качества обусловили очень широкое применение чугунов в производстве.

В зависимости от условий кристаллизации и состояния углерода чугуны делят на два класса :

1. *Белый чугун*, в котором углерод находится *в химически связанном состоянии (в виде цементита)*; имеет излом белого цвета.

2. *Серый чугун*, в котором углерод находится *полностью или частично в свободном состоянии (в виде графита)*; имеет излом пепельно-серого цвета.

1.2. Белые чугуны

Как уже указывалось выше, белыми называются чугуны, у которых углерод присутствует только в виде цементита. В соответствии с диаграммой Fe – Fe_3C (рис. 6.1 – а) белые чугуны по структуре делятся на:

доэвтектические — при содержании углерода от 2,14 до 4,3%. Структура: перлит и ледебурит (рис. 6.1 – а);

эвтектический — при содержании углерода 4,3%. Структура — ледебурит (рис. 6.1 – б);

заэвтектические — при содержании углерода от 4,3 до 6,67%. Структура — ледебурит и цементит первичный (рис. 6.1 – в).

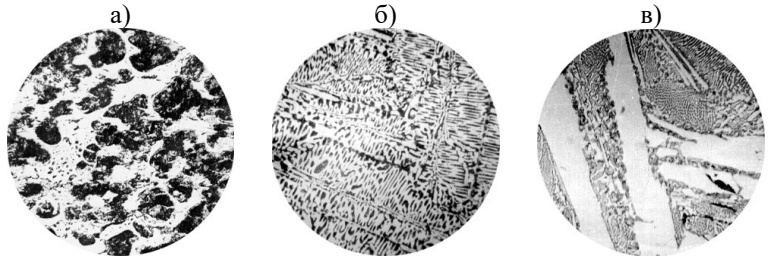


Рис. 6.1 Микроструктура белого чугуна (х 135)
а) доэвтектический (перлит+ледебурит);
б) эвтектический (ледебурит);
в) заэвтектический (ледебурит+цементит первичный)

Белые чугуны содержат от 30 до 100% цементита, поэтому обладают высокой твердостью (НВ=5000-8000 МПа) и хрупкостью, практически не поддаются обработке резанием. Поэтому *основная область их применения — получение тонкостенных отливок для получения ковкого чугуна и в качестве передельного чугуна при производстве стали (чушковый чугун)*.

1.3. Серые чугуны

В этих чугунах углерод полностью или частично находится в свободном состоянии (в виде графита). Графит придает излому чугуна темно-серый цвет.

Графит в серых чугунах образуется при охлаждении отливок. В соответствии с современной теорией графитизации, часть графита может образовываться уже в жидкой фазе (в расплавленном чугуне), а другая часть образуется при охлаждении твердой фазы путем распада цементита на аустенит и графит. При последующем охлаждении аустенит также может распадаться на феррит и графит.

Таким образом, кроме превращений, приводящих к образованию цементита (рассмотренных в работе № 4) на диаграмме состояния железо-углерод возможны превращения, приводящие к образованию графита. Основное влияние на количество выделившегося углерода (степень графитизации) оказывает скорость охлаждения сплава. *Чем выше скорость охлаждения, тем ниже степень графитизации*. В зависимости от полноты степени графитизации, будут получаться чугуны с различной металлической основой. Если скорость охлажде-

ния очень мала*, то графитизация будет полной, весь находящийся в сплаве цементит превратится в графит и чугун будет иметь ферритную металлическую основу.

Если часть углерода останется в связанном состоянии (неполная графитизация), то металлическая основа может быть перлитной или феррито-перлитной.

Таким образом, различают серые чугуны:

1) на перлитной основе (при содержании углерода в виде цементита 0,8%; см. рис. 6.2 – в);

2) на феррито-перлитной основе (при содержании углерода в виде цементита от 0,03 до 0,8%; см. рис. 6.2 – б, д);

3) на ферритной основе (когда углерода в виде цементита нет, т.е. он полностью находится только в виде графита; см. рис. 6.2 – г).

Структура металлической основы просматривается на микрошлифах после травления (рис. 6.2 – б, в, г, д).

Следует иметь в виду, что твердость чугуна определяется структурой его металлической основы:

Чугун	Ферритный	Феррито-перлитный	Перлитный
Твердость, НВ	1500	2000	2500

Из рассмотренного можно сделать вывод, что металлическая основа серых чугунов похожа на структуру доэвтектоидных и эвтектоидных сталей, *то есть основное отличие серых чугунов от сталей — наличие графитных включений, предопределяющих специфические свойства чугунов*.

Форма, размер, количество и взаимное расположение графитовых включений оказывают существенное влияние на физико-механические и эксплуатационные свойства серых чугунов. *По форме графитовых включений* различают обыкновенный, ковкий и высокопрочный серые чугуны.

1.4. Обыкновенный (литейный) серый *чугун*

В обыкновенном (литейном) сером чугуне графит имеет форму тонких, сильно искривленных лепестков (пластинок). Так как шлиф представляет собой плоское сечение, то в поле зрения микроскопа графит выглядит в виде искривленных черточек (рис. 6.2 – а).

* На практике для получения отливок чугунов с требуемой структурой, скорости охлаждения не варьируют, а только учитывают, что малые отливки будут охлаждаться быстрее, чем большие. *Для получения конкретной структуры в чугун добавляют примеси, способствующие (Si, C) или препятствующие (Mn, S) процессу графитизации.*

Так как графит обладает ничтожно малой прочностью и хрупок, поэтому он представляет собой как бы трещины или пустоты в чугуне, их острые кромки, подобно надрезам, способствуют концентрации напряжений и приводят к преждевременному разрушению металлической основы. Чем больше в чугуне графита и чем грубее его включения, тем ниже механические свойства чугуна. Поэтому наличие пластинчатого графита приводит к снижению пластичности и прочности при растяжении серых чугунов (они значительно ниже, чем у стали). Относительное удлинение δ обыкновенного серого чугуна колеблется от 0,2 до 0,8%, а предел прочности при растяжении $\sigma_в$ — от 12 до 38 $кгс/мм^2$ (120…380 МПа). Предел прочности при сжатии и твердость, которые зависят главным образом от строения металлической основы, оказываются достаточно высокими и практически близки к свойствам сталей, имеющих соответствующую структуру.

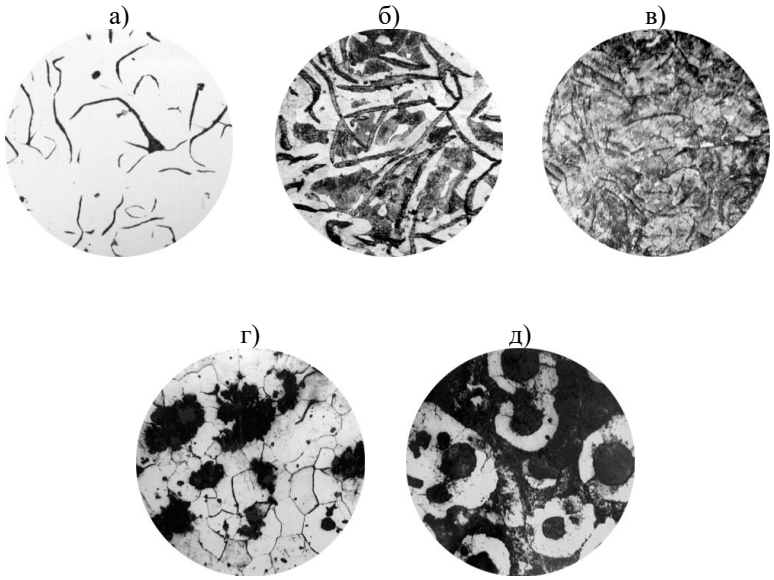


Рис. 6.2 Микроструктура серого чугуна (х 135)
а) обыкновенный серый чугун до травления (графит);
б) феррито-перлитный серый чугун (графит+перлит+феррит);
в) перлитный серый чугун (графит+перлит);
г) ферритный ковкий чугун (графит+феррит);
д) феррито-перлитный высокопрочный чугун (графит+перлит+феррит)

Наряду с отрицательным влиянием на свойства чугуна, графит оказывает и положительное действие. В ряде случаев, именно благодаря наличию графита, чугун имеет преимущество перед сталью, например:

наличие графита сообщает чугуну высокие литейные свойства: увеличивает жидкотекучесть (способствует хорошему заполнению литейной формы), усадка у серого чугуна меньше, чем у стали, поверхность чугунных отливок лучше, чем у стальных;

графит делает стружку ломкой, облегчает обрабатываемость резанием;

благодаря смазывающему действию графита чугун обладает хорошими антифрикционными свойствами (то есть хорошо работает на трение, износостоек);

чугун меньше, чем сталь чувствителен к внешним дефектам поверхности (трещина и надрезам);

графитные включения способствуют затуханию вибрации и резонансных колебаний.

Из обыкновенных серых чугунов отливают крупногабаритные конструкции, не испытывающие больших динамических нагрузок (станины, корпуса редукторов, фундаментные рамы и т.п.).

Основанием для *маркировки* обыкновенного (литейного) серого чугуна являются его механические свойства (а именно *предел прочности на растяжение*).

Марки этих чугунов обозначаются буквами *СЧ* и числом, показывающим предел прочности на разрыв $\left(\sigma_в, кг/мм^2\right)$, например*: СЧ-15, СЧ-25, СЧ-35, СЧ-40.*

1.5. Высокопрочный чугун

Высокопрочный (модифицированный) чугун имеет *шаровидную форму графитных включений.* Этот чугун получают при добавлении в жидкий чугун присадок (модификаторов) — магния, церия или редкоземельных металлов в количестве 0,3-0,7% от веса жидкого чугуна.

Под действием модификаторов графит в процессе кристаллизации высокопрочного чугуна принимает не пластинчатую, а шаровидную форму (рис. 6.2 – д).

Металлическая основа высокопрочного серого чугуна такая же, как и у обыкновенного — ферритная (при полной графитизации), феррито-перлитная или перлитная (при неполной графитизации).

Шаровидные включения графита в этом чугуне не играют роли острых надрезов в металлической основе и не создают резкой концентрации напряжений, поэтому чугун с шаровидной формой графита имеет более высокие значения прочности и пластичности (отсюда и его название — «высокопрочный»). Его механические свойства приближаются к свойствам стали. Кроме высоких значений пластичности и прочности, высокопрочный чугун характеризуется хорошей восприимчивостью к термической обработке (по сравнению с обыкновенным серым чугуном), что дает возможность в значительных пределах регулировать структуру и свойства отливок из этого чугуна.

Сочетание в высокопрочном чугуне ценных свойств чугуна и стали обуславливает его широкое применение в качестве конструкционного материала для изготовления ответственных деталей, работающих в условиях ударных нагрузок: коленчатых валов, гребных винтов, цилиндров высокого давления, шатунов, картеров, зубчатых колес и других деталей.

Марки высокопрочных чугунов обозначаются буквами ВЧ и двумя числами, показывающими прочность на разрыв $\left(\sigma_в, кг/мм^2\right)$: *ВЧ-40, ВЧ-45, ВЧ-60* и др. (ГОСТ 7293 - 85).

1.6. Ковкие чугуны

При получении из чугунов тонкостенных отливок, вследствие ускоренной кристаллизации, отливки приобретают структуру белого чугуна. Поскольку такие отливки не могут эксплуатироваться при ударных нагрузках, их подвергают графитизирующему отжигу на ковкий чугун. При отжиге в результате процесса графитизации происходит распад цементита белого чугуна с образованием *графита хлопьевидной формы*. В зависимости от степени графитизации ковкий чугун также может иметь различную структуру металлической основы (рис. 6.2 – г).

Для ковкого чугуна характерны высокие показатели относительного удлинения, ударной вязкости и предела прочности. Название «ковкий» подчеркивает большую пластичность данного чугуна по сравнению с обыкновенным серым чугуном. Детали из ковкого чугуна полностью свободны от остаточных литейных напряжений.

Ковкий чугун маркируется буквами *КЧ* и двумя числами, показывающими предел прочности на разрыв $\left(\sigma_в, кг/мм^2\right)$ и относительное удлинение $\left(\delta, \%\right)$: *КЧ-30-6, КЧ-35-10, КЧ-60-3*.

Химический состав и физико-механические свойства некоторых чугунов приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Механические свойства и химический состав некоторых серых чугунов

Структура	Марка	Содержание углерода, %	Предел прочности, МПа	Относительное удлинение, %	Твердость НВ, МПа
Обыкновенные (литейные) серые чугуны					
Перлитная	СЧ 15	3,5 – 3,7	147	0,2 – 1,0	1630 – 2290
Феррито-перлитная	СЧ 18	3,4 – 3,6	176		1700 – 2410
Перлитная	СЧ 20	3,3 – 3,5	196	0,4 – 0,65	1700 – 2410
	СЧ 25	3,2 – 3,4	245		1800 – 2500
	СЧ 30	3,0 – 3,2	294		1810 – 2550
	СЧ 35	2,9 – 3,0	343	0,65 – 0,9	1970 – 2690
Высокопрочный чугун					
Ферритная	ВЧ 35	3,3 – 3,8	350	22	1400 – 1700
	ВЧ 40		400	15	1400 – 2020
Перлитная	ВЧ 60	3,2 – 3,6	600	3	1920 – 2770
	ВЧ 65		650	3	
	ВЧ 70		700	2	2280 – 3020
	ВЧ 80		800	2	2480 – 3510
Бейнитная	ВЧ 100		1000	2	2700 – 3600
Ковкий чугун					
Ферритная	КЧ 30-6	2,6 – 2,9	294	6	1000 – 1630
Перлитная	КЧ 45-7	2,5 – 2,8	441	7	1500 – 2070
	КЧ 65-3	2,4 – 2,7	637	3	2120 – 2690

2. Исследовательская часть

2.1. Порядок выполнения работы

1. Исследовать под микроскопом комплект шлифов чугунов.
2. Определить вид чугуна и зарисовать структуры с указанием структурных составляющих.
3. Дать описание рассмотренных структур, определить вид металлической основы.
4. Составить письменный отчет по работе.

2.2. Содержание отчета по работе

1. Название и цель работы.
2. Определение чугунов.
3. Классификация белых и серых чугунов.
4. Эскизы структур чугунов с обязательным указанием общего увеличения, фазовых и структурных составляющих, названием чугуна.
5. Выводы по работе.

3. Контрольные вопросы

1. Чем отличается химический состав чугунов от сталей?
2. Как классифицируются чугуны : а) по состоянию углерода; б) по форме графитных включений?
3. Каковы характерные структуры и свойства белых чугунов ?
4. Каковы характерные структуры и форма графита у обыкновенных, высокопрочных и ковких серых чугунов?
5. Как влияет на свойства чугуна графит — его форма, количество и величина частиц?
6. Каковы характерные свойства чугунов, в чем их преимущество перед сталями и в чем недостаток?
7. Назовите примеры марок и изделий, изготавливаемых из чугунов: серого обыкновенного, высокопрочного, ковкого.

РАБОТА 7. ИЗМЕРЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Цель работы: ознакомиться с теорией и практикой измерения твердости материалов по Бринеллю, Роквеллу и Виккерсу.

1. Теоретическая часть

1.1. Общие сведения

При изготовлении деталей и изделий из различных сплавов необходимо знать их качество, которое определяется уровнем механических свойств. Твердость является одной из наиболее распространенных характеристик, применяемых для оценки физико-механических свойств металлов и сплавов, их пригодность для того или иного назначения.

Под твердостью понимают сопротивление металла деформации на поверхности при установленном механическом воздействии на нее другого более твердого тела заданной формы и размера, не изменяемых во время испытания.

Иначе твердость можно определить как способность материала сопротивляться внедрению более твердого тела.

Методы измерения твердости характеризуются простотой и оперативностью оценки качества полуфабрикатов, заготовок и деталей независимо от формы и размеров (измерение твердости по технике выполнения значительно проще, чем определение прочности, пластичности и вязкости); при измерении твердости отсутствует разрушение металла или порча поверхности изделия; по твердости можно аналитически определить значения предела прочности и предела текучести, что значительно повышает надежность быстрой оценки качества изделий.

Часто пригодность изделий и заготовок определяют только по твердости. Все виды режущего, мерительного, все цементованные и азотированные детали, а также детали, подвергнутые термической обработке контролируются на твердость. Определение твердости является почти единственным методом контроля качества штампов и пресс-форм, металла для холодной обработки.

В настоящее время применяют следующие способы (методы) определения твердости:

царапанием — характеризует сопротивление материала разрушению;

отскоком бойка — характеризует упругие свойства материала;

вдавливанием идентора — характеризует сопротивление пластической деформации;

Наибольшее распространение получил метод измерения твердости вдавливанием.

В свою очередь, среди методов измерения твердости вдавливанием наибольшее распространение получили методы Роквелла, Бринелля и Виккерса (рис. 7.1).

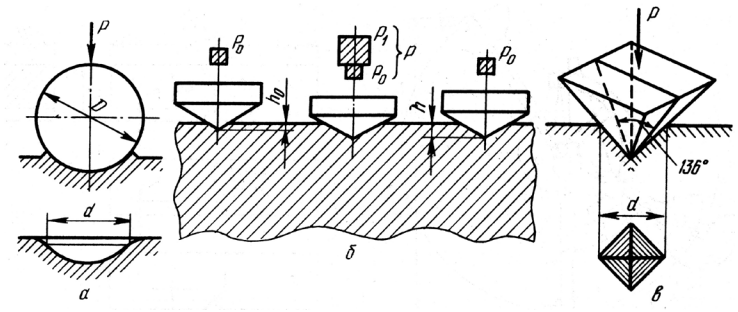


Рис. 7.1 Методы измерения твердости:
а – по Бринеллю; б – по Роквеллу; в – по Виккерсу

1.2. Измерение твердости вдавливанием шарика (твердость по Бринеллю)

По этому методу в материал под действием нагрузки P, приложенной без удара перпендикулярно поверхности, вдавливают стальной закаленный шарик, диаметром D (рис. 7.1 – а).

Шарик вдавливается с помощью пресса с гидравлическим или механическим приводом. В результате на поверхности образца образуется отпечаток, диаметр d которого измеряют в двух взаимно перпендикулярных направлениях с помощью специальной лупы («лупа Бринелля»).

Числом твердости по Бринеллю НВ называют отношение приложенной нагрузки P, к площади сферической поверхности отпечатка F:

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{P}{\frac{\pi \cdot d^2}{2} - \frac{\pi \cdot d}{2} \cdot \left(\sqrt{D^2 - d^2}\right)} = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot d \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)},$$

где P – нагрузка; F – площадь отпечатка; D – диаметр шарика;
d – диаметр отпечатка.

Число твердости по Бринеллю НВ имеет размерность МПа.

При испытаниях стали и чугуна выбирают D = 10 мм и P = 30 кН, при испытании меди и ее сплавов D = 10 мм и P = 10 кН, а при испытании очень мягких материалов D = 10 мм и P = 2,5 кН.

Метод Бринелля не рекомендуется применять для материалов с твердостью более, чем НВ 450, так как в этом случае идентор (шарик) может деформироваться, что исказит результаты испытаний.

Между пределом прочности $\sigma_в$ и числом твердости НВ имеется приближенная аналитическая зависимость:

$$\sigma_в \approx k \cdot HB$$

Значения коэффициента k приведены в таблице 7.1

Таблица 7.1

Материал	k
Сталь, твердостью (120…175) НВ	3,43 НВ
Сталь, твердостью (175…450) НВ	3,62 НВ
Медь, латунь, бронза (отожженные)	5,5 НВ
Медь, латунь, бронза (наклепанные)	4,0 НВ
Алюминий и алюминиевые сплавы, (20…45) НВ	3,4 НВ
Дюралюмин (отожженный)	3,6 НВ
Дюралюмин (закаленный)	3,5 НВ

1.3. Измерение твердости вдавливанием конуса или шарика (твердость по Роквеллу)

При измерении твердости по Роквеллу в испытуемой образец вдавливается алмазный конус с углом при вершине α, равный 120^{O}, или стальной закаленный шарик диаметром 1,587 мм. Алмазный конус применяют для измерения твердых материалов, а шарик — для мягких материалов.

Принципиальное отличие измерения твердости по Роквеллу от способа измерения по Бринеллю состоит в том, что *измеряется* не диаметр, а *глубина отпечатка.*

Конус (шарик) вдавливают двумя последовательно прилагаемыми нагрузками (рис. 7.1–б): предварительной $P_o = 100\ H$ и общей $P = P_o + P_1$ (где P_1 — основная нагрузка). Основная нагрузка выбирается исходя из предполагаемой твердости испытываемых материалов (таблица 7.2)

Таблица 7.2

Испытываемый материал	Идентор	Шкала прибора	Основная нагрузка P_1, Н	Общая нагрузка P, Н
Измерение очень твердых материалов, твердых поверхностных слоев, тонких образцов	∇	A	500	600
Измерение мягкой (отожженной) стали и цветных сплавов	O	B	900	1 000
Измерение твердости закаленной или низкоотпущенной стали, определение твердости тонких поверхностных слоев	∇	C	1400	1500

Примечание: ∇ — алмазный конус;
O — стальной закаленный шарик

После приложения общей нагрузки P, основная нагрузка P_1 снимается и идентор поднимается до глубины h (см. рис. 7.1 – б). Твердость по Роквеллу измеряют в условных единицах. За единицу твердости принято значение осевого перемещения наконечника на 0,002 мм. Твердость HR определяется по формулам:

$HR = 100 - e$ (при измерении по шкалам A и C);

$HR = 130 - e$ (при измерении по шкале B),

где $e = (h - h_0)/0{,}002$;

h – глубина внедрения наконечника в испытуемый материал, измеренная после снятия основной нагрузки P_1 (но с оставлением предварительной нагрузки $P_o = 100\ H$);

h_0 – глубина внедрения наконечника под действием нагрузки P_o.

Твердость по Роквеллу обозначается:

HRA — испытание алмазным конусом при общей нагрузке 600 Н;

HRB — испытание стальным шариком при нагрузке 1000 Н;

HRC — испытание алмазным конусом при нагрузке 1500 Н.

При испытаниях на приборе Роквелла значение твердости материала считывается со шкалы прибора.

Значение твердости по Роквеллу — *безразмерные единицы*.

1.4. Измерение твердости вдавливанием алмазной пирамиды (твердость по Виккерсу)

Метод используется для определения твердости деталей малой толщины и тонких поверхностных слоев, имеющих твердость более 450 НВ. Твердость оценивается вдавливанием в испытуемую поверхность (шлифованную или полированную) четырехгранной алмазной пирамиды (рис. 7.1 – в).

Твердость по Виккерсу определяют по формуле:

$$HV = 1{,}8544\frac{P}{d^2}\cdot 10^{-6},$$

где P – нагрузка на пирамиду, Н;

d – среднее арифметическое двух диагоналей отпечатка, измеренное после снятия нагрузки, м.

В зависимости от толщины испытуемого материала и предполагаемой твердости, нагрузка P может приниматься равной 50, 100, 200, 300, 500, 1000 или 1200 Н (обозначение твердости HV_5, HV_{10}, HV_{20}, HV_{30} и т.д.)

Число твердости по Виккерсу HV имеет размерность МПа.

2. Исследовательская часть

2.1. Порядок выполнения работы

1. Проработать теоретические сведения.

2. Измерить твердость образцов по методу Бринелля и по числу твердости определить значение предела прочности испытуемого материала.

3. Результаты свести в таблицу:

Таблица 7.3

Измерение твердости по Бринеллю

Марка материала	Нагрузка, *кгс* (*МПа*)	Диаметр шарика, *мм*	Диаметр отпечатка, *мм*	Твердость НВ, *МПа*	Предел прочности, *МПа*

4. На приборе Роквелла измерить твердость отожженных образцов из сталей 45 и У10. Для этих материалов твердость измеряется по шкале В. По таблице перевода чисел твердости определить значение HRC и НВ.

5. На приборе Роквелла определить твердость закаленных образцов из сталей 45 и У10 (шкала С). По таблице перевода чисел твердости определить значение НВ.

6. На приборе Роквелла измерить твердость образцов из отожженной бронзы БрАЖМц 9-4-1 (шкала В). По таблице перевода чисел твердости определить значение НВ.

7. По значениям твердость НВ определить предел прочности испытуемых материалов. Данные занести в таблицу 7.4.

Таблица 7.4

Измерение твердости по Роквеллу

Марка материала	Нагрузка, *МПа*	Форма наконечника	Твердость по Роквеллу			Твердость НВ, *МПа*		Предел прочности, *МПа*	
			после отжига		после закалки	после отжига	после закалки	после отжига	после закалки
			HRB	HRC	HRC				

2.2. Содержание отчета по работе

1. Название и цель работы.
2. Определение твердости.
3. Краткое описание методов измерения твердости по Роквеллу, Бринеллю и Виккерсу, схемы и формулы для расчета чисел твердости.
4. Заполненные протоколы исследований.
5. Выводы по работе.

3. Контрольные вопросы

1. Что называется твердостью? Какие методы измерения твердости Вам известны?
2. Как производится измерение твердости по Бринеллю, Роквеллу и Виккерсу? В чем принципиальное отличие этих методов?
3. В каких единицах измеряется твердость по Бринеллю, Роквеллу и Виккерсу?
4. Объясните схему последовательного приложения нагрузки в методе измерения твердости по Роквеллу.
5. Для каких материалов применяется шкалы А, В и С при измерении твердости по методу Роквелла?

РАБОТА 8. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА ПОД ЗАКАЛКУ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Цель работы: исследование формирования структур углеродистых сталей при закалке, изучение влияние температуры нагрева под закалку на структуру и свойства доэвтектоидных и заэвтектоидных сталей.

1. Теоретическая часть

1.1. Общие сведения

Термической обработкой (термообработка, ТО) *называется совокупность процессов нагрева, выдержки, охлаждения, в результате которых существенно меняются структура и свойства металлов и сплавов*.

Термообработка занимает в машиностроительном и ремонтном производствах одно из ведущих мест, ей подвергают заготовки (отливки, штамповки, поковки и другие полуфабрикаты), а также готовые детали машин, инструмент.

Любой процесс ТО состоит из трех *основных операций*: *нагрева* (температура нагрева определяется видом термообработки и химическим составом материала), *выдержки* (время выдержки определяется прежде всего размерами детали) и *охлаждения* (скорость охлаждения определяется видом ТО, химическим составом материала и необходимым уровнем физико-механических свойств).

Таким образом, основными видами термообработки (в зависимости от температуры нагрева, времени выдержки, скорости охлаждения и получаемых свойств) являются: отжиг, нормализация, закалка, отпуск, старение.

Отжигу и нормализации обычно подвергаются заготовки изделий. Эти виды термообработки являются предварительными, позволяющими подготовить сталь к обработке резанием или к дальнейшим видам ТО. В результате этих операций сталь приобретает однородную, равномерную структуру, становиться пластичнее, легче обрабатывается резанием.

Цель закалки — получение структуры *мартенсита*, обладающего *наибольшей* прочностью и твердостью (58-65 HRC), но минимальной пластичостью.

После закалки *обязательным* видом термообработки является *отпуск*, цель которого — снятие внутренних напряжений, возникающих в результате закалки.

Закалка и отпуск — обычно окончательный вид термообработки, применяющийся для готовых изделий.

Теоретические основы ТО были заложены в трудах великого русского ученого Д.К. Чернова, открывшего в 1868 году «критические» точки сталей, при переходе через которые (при нагреве или охлаждении) меняются структура, а следовательно и свойства стали.

Основными критическими точками на диаграмме состояния Fe – Fe_3C являются:

точка A_{c1} (линия PSK, температура 727 ^{O}C) — при нагреве любой стали выше т. A_{c1} перлит превращается в аустенит;

точка A_{c3} (линия GS, температура от 727 до 911 ^{O}C) — при нагреве доэвтектоидной стали выше т. A_{c3} феррит растворяется в аустените;

точка A_{cm} (линия SE, температура от 727 до 1147 ^{O}C) — при нагреве заэвтектоидной стали выше т. A_{cm} цементит вторичный растворяется в аустените.

1.2. Превращения при нагреве сталей. Рост аустенитного зерна

Структура мартенсита при закалке стали формируется из аустенита, поэтому на начальной стадии закалки необходимо сформировать исходную аустенитную структуру.

Известно, что при нагреве сталей до температур выше линии PSK (т. A_{c1}) перлит превращается в аустенит. Превращение сопровождается полиморфным $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращением и растворением в образовавшемся аустените цементита (карбидов железа). Зародыш аустенита возникает на границе раздела кристаллов феррита и цементита. Образовавшиеся зародыши растут благодаря интенсивной диффузии атомов углерода в аустените, одновременно зарождаются новые зерна.

При обычных условиях нагрева, превращение перлита в аустенит происходит не при температуре 727^{O}C, а при некотором перегреве, причем температуры начала и окончания превращения зависят от скорости нагрева (рис. 8.1).

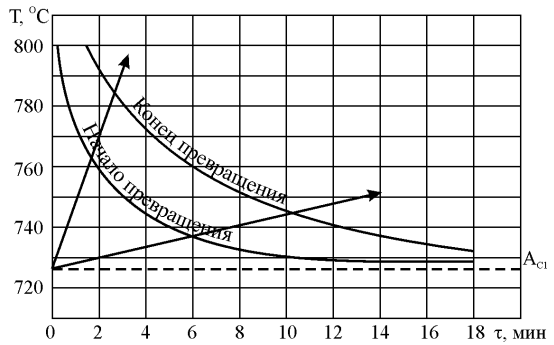


Рис. 8.1 Превращение перлита в аустенит при различных скоростях нагрева

Величина образовавшегося аустенитного зерна имеет большое влияние на свойства стали после ее термической обработки. В случае, если образовалось зерно крупного размера, то и продукты превращения также будут иметь крупнозернистое строения, что приведет к снижения прочностных свойств.

По склонности аустенитного зерна к росту различают наследственно крупнозернистые и наследственно мелкозернистые стали. На рис. 8.2 приведена схема изменения величины зерна аустенита в стали при нагреве выше т. A_{c1}. В наследственно крупнозернистых ста-

лях зародыши аустенитных зерен начинают расти уже при достаточно небольшой степени перегрева выше т. A_{c1} (*кривая 2*); в наследственно мелкозернистых мелкое зерно сохраняется до температуры 930-950 ^{O}C, а выше начинается интенсивный рост зерна (*кривая 1*).

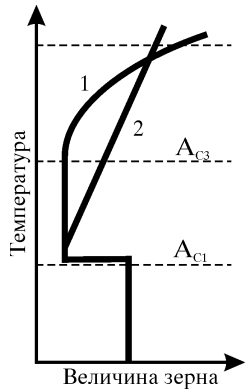


Рис. 8.2 Рост аустенитного зерна при нагреве

1 – наследственно мелкозернистые стали;
2 – наследственно крупнозернистые стали

Наследственно мелкозернистые стали обладают лучшими технологическими и физико-механическими свойствами.

1.3. Сущность закалки. Мартенситное (бездиффузионное) превращение

При термообработке стали нагревают до определенных температур и охлаждают с различными скоростями. Скорость охлаждения будет существенным образом влиять на кинетику превращения исходного (аустенитного) зерна, а следовательно и на образующиеся в результате охлаждения структуры.

Рассмотрим два предельных случая:

1. Скорость охлаждения мала (охлаждение вместе с печью или на воздухе, $V_{охл} \approx (1...3)\ {}^{o}C/c$):

В этом случае распад аустенита идет на линии PSK в полном соответствии с диаграммой железо-цементит:

$A_s \rightarrow \Phi_p + Ц_к$ — перлитное (диффузионное) превращение

Иными словами, из фазы с содержанием углерода 0,8% (аустенит), образуется смесь двух новых фаз, одна из которых содержит ~ 0,025% С (феррит), а другая 6,67% С (цементит):

Такое превращение возможно в том случае, если происходит диффузия углерода из одних участков сплава (которые в результате обедняются углеродом), к другим, которые будут обогащаться углеродом.

Таким образом, *перлитное превращение* по своей сути будет являться *диффузионным*.

2. Скорость охлаждения весьма велика ($V_{охл} \geq 100\ {}^{O}C/c$)

Необходимые условия для протекания диффузии — высокая температура и длительное время. Если при медленном охлаждении эти условия выполняются (вследствие появления «площадки» на кривой охлаждения при температуре 727 ^{O}C), то при быстром охлаждении диффузия углерода полностью подавляется. В то же время $\gamma \rightarrow \alpha$ превращение происходит полностью. В результате весь углерод, находившийся в аустените, полностью останется в решетке Fe_α. Таким образом структура стали после быстрого охлаждения будет представлять собой перенасыщенный раствор углерода в Fe_α. Вследствие того, что решетка α-железа будет содержать избыточное количество углерода, она искажается и возникает ее «тетрагональность» (c/a > 1, см. рис. 8.2 – б), то есть параметр решетки по оси OZ будет больше, чем по осям OX и OY (сравните рис. 8.3 – а и 8.3 – б). Образующаяся фаза носит название «мартенсит» ($Fe_\alpha^{*}(C)$ *; M).*

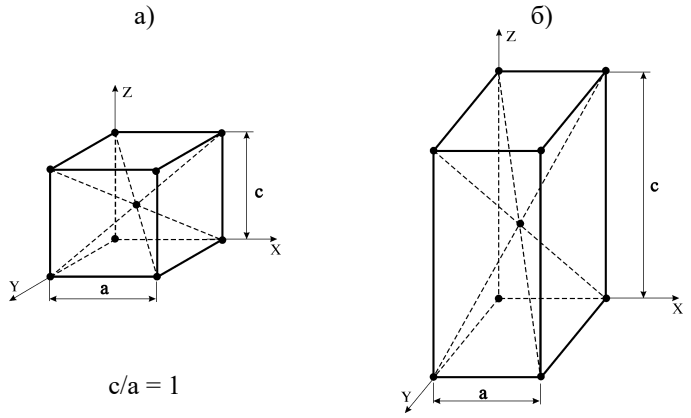


Рис. 8.3 Кристаллические решетки феррита (о.ц.к.) и мартенсита (о.ц.т.)

Мартенситом называется упорядоченный пересыщенный раствор углерода в Fe_α, образующийся из аустенита бездиффузионным (сдвиговым) путем.

Мартенситное превращение, в отличие от перлитного — *бездиффузионное*.

Тетрагональность решетки мартенсита объясняется преимущественным расположением атомов углерода по направлению OZ.

Вследствие тетрагональности решетки в ней возникают значительные внутренние напряжения, которые и приводят к увеличению прочностных свойств стали при закалке.

1.4. Практика закалки сталей

Выбор температуры нагрева при закалке рассмотрим отдельно для доэвтектоидных и заэвтектоидных сталей:

Доэвтектоидные стали:

Очевидно, что нагрев до температур ниже т. A_{c1} (727 ^{O}C) не вызовет структурных изменений в стали и после охлаждения ее структура (а значит и свойства) останутся неизменными. При нагреве стали выше т. A_{c1}, но ниже A_{c3} структура будет представлять собой аустенит и феррит. После быстрого охлаждения аустенит претерпевает мартенситное превращение, а феррит — останется в структуре. Феррит обладает низкой прочностью и твердостью (см. Лабораторную работу № 5), поэтому его присутствие вызывает снижение твердости и прочности закаленной стали. Следовательно, доэвтектоидные стали при закалке целесообразно нагревать до температур на 30-50 ^{O}C выше т. A_{c3}, что даст возможность полностью избавится от феррита.

Заэвтектоидные стали:

При нагреве выше A_{c1} (но ниже A_{cm}) в структуре стали получают аустенит и цементит. При последующем охлаждении (закалке) сталь будет иметь структуру мартенсита и цементита. Вследствие того, что цементит обладает высокой твердостью, его наличие в структуре мартенсита он не вызовет снижения прочностных свойств закаленной стали.

Нагревать заэвтектоидные стали до температур, выше т. A_{cm} нецелесообразно, поскольку:

это ведет к перерасходу энергетических ресурсов;

приводит к резкому увеличению размеров аустенитного зерна;

растворение цементита в аустените увеличивает количество остаточного аустенита в структуре стали, что приводит к снижению твердости.

Таким образом, закалка это нагрев доэвтектоидных сталей до температуры A_{c3}+(30…50)^{O}C, заэвтектоидных — A_{c1}+(30…50)^{O}C, выдержка при этой температуре и последующее резкое (быстрое) охлаждение.

Интервал температур закалки приведен на рис. 8.4.

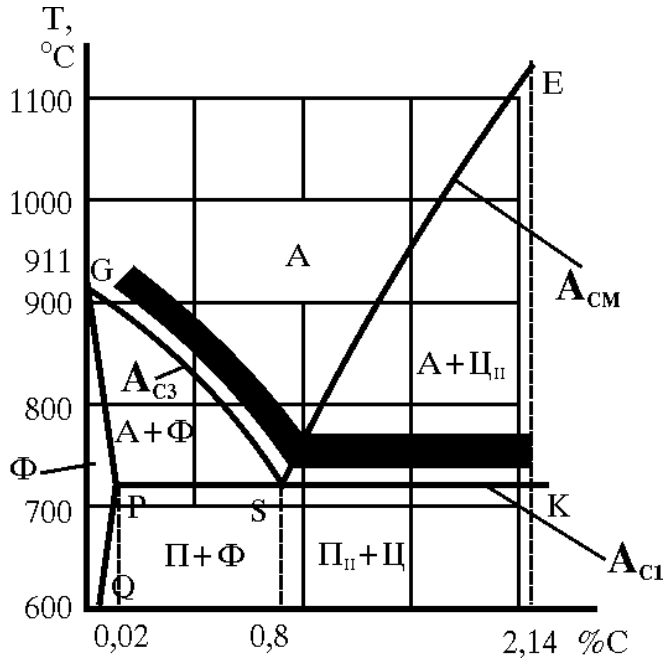


Рис. 8.4 Оптимальный интервал температур закалки углеродистых сталей

Общее время термообработки определяется по следующей формуле:

$$\tau_{общ.} = \tau_{нагр.} + \tau_{выд.} + \tau_{охл.}$$

где $\tau_{нагр.}$ – время нагрева образца до заданной температуры. На практике определяется из расчета 1 мин на 1 мм детали круглого сечения (или 1,5 мин на 1 мм прямоугольного сечения);

$\tau_{выд.}$ - время, необходимое для завершения превращения исходной структуры в аустенит. При закалке углеродистых сталей определяется как $\tau_{выд.} = 20\% \cdot \tau_{нагр.}$;

$\tau_{охл.}$ - время охлаждения образца. При закалке $\tau_{охл.} \to 0$.

График термообработки при закалке приведен на рис. 8.5.

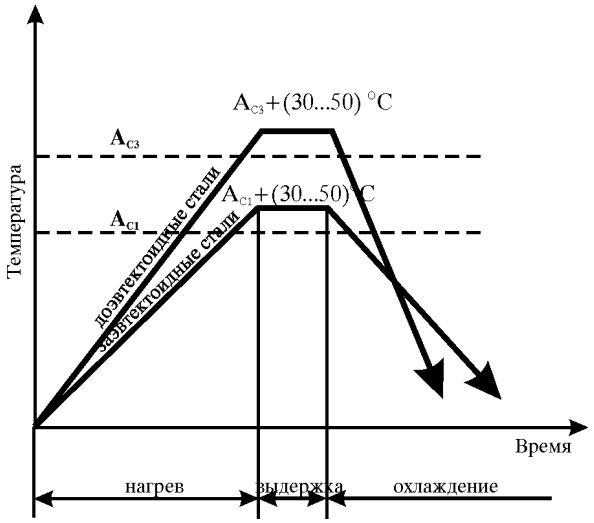


Рис. 8.5 График термообработки (закалки) для доэвтектоидных и заэвтектоидных сталей.

2. Исследовательская часть

2.1. Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя образцы сталей 45 (доэвтектоидной) и У10 (заэвтектоидной).

2. Измерить твердость образцов до ТО на приборе Роквелла (шкала С). Значения чисел твердости перевести в твердость по Бринелю.

3. Рассчитать время нагрева и выдержки образцов в печи.

4. Загрузить образцы в печи, нагретые до температур 650, 750 и 850 ^{O}C и выдержать необходимое время.

5. Охладить образцы в воде. При охлаждении образец, взятый из печи щипцами, быстро переносится в воду и интенсивно перемещается в ней (для предотвращения образования на поверхности образца паровых пузырьков).

6. Охлажденные образцы зачистить от окалины (с помощью наждачной бумаги) и измерить твердость на приборе Роквелла (шкала С). Полученные значения перевести в твердость по Бринеллю

7. Результаты замеров занести в таблицу 8.1.

Таблица 8.1

Протокол исследований

Марка стали	Температура нагрева, ^{O}C	Время нагрева и выдержки в печи, мин	Охлаждающая среда	Твердость				Микроструктура
				до ТО		после ТО		
				HRC	HB	HRC	HB	
	650		Вода					
	750							
	850							
	650							
	750							
	850							

8. Изучить микроструктуру сталей по коллекции микрошлифов, сопоставить структуру с полученными результатами, построить графики «твердость – температура нагрева под закалку».

9. Провести анализ полученных результатов, сделать выводы по работе.

2.2. Содержание отчета по работе

1. Название и цель работы.

2. Определения — термическая обработка, закалка, цель закалки, мартенсит.

3. Критические точки на диаграмме железо-цементит.

4. Участок диаграммы железо-цементит с выделенными областями температур нагрева под закалку.

5. Протокол исследований и графики (твердость – температура нагрева под закалку).

6. Выводы по работе.

3. Контрольные вопросы

1. Дать определение термообработки. Чем определяется выбор температур нагрева, времени выдержки и вида охлаждения?

2. Перечислите виды термообработки и их применение.

3. Назовите и покажите на диаграмме железо-цементит критические точки.

4. Что такое закалка? Какова цель закалки?

5. Объясните разницу в механизмах диффузионного и бездиффузионного превращений.

6. Что такое мартенсит, каковы его свойства, строение и тип кристаллической решетки? Чем объясняется высокая твердость и прочность мартенсита?

7. Назовите температуры нагрева под закалку доэвтектоидных и заэвтектоидных сталей. Обоснуйте, почему стали необходимо нагревать именно до этих температур.

8. Как определяется время нагрева и выдержки стали в печи при закалке? Как определить суммарное время термообработки?

РАБОТА 9. ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУР ПРИ ИЗОТЕРМИЧЕСКОМ И НЕПРЕРЫВНОМ ОХЛАЖДЕНИИ АУСТЕНИТА

Цель работы: изучение диаграмм изотермического распада аустенита. Анализ связи образующихся структур и свойств углеродистых сталей со скоростями непрерывного охлаждения переохлажденного аустенита.

1. Теоретическая часть

1.1. Изотермический распад переохлажденного аустенита

В лабораторной работе № 8 рассмотрены два предельных случая охлаждения аустенита. Показано, что при малых скоростях охлаждения аустенит претерпевает диффузионное (перлитное), а при скоростях охлаждения $V_{охл} \geq 100\ ^{O}C/c$ — бездиффузионное (мартенситное) превращение. Логично предположить, что охлаждая аустенит с некоторыми промежуточными скоростями, превращения будут носить смешанный (и диффузионный, и бездиффузионный) характер.

Для описания процессов распада аустенита в современном металловедении широко применяется *диаграмма изотермического* (проходящего при ***постоянной*** температуре) *распада переохлажденного аустенита*.

Для изучения изотермического превращения аустенита небольшие образцы стали нагревают до температур, соответствующих существованию стабильного аустенита (то есть выше т. A_{c1}). Затем образцы быстро охлаждают до температур ниже A_{c1} (например, до 700, 600, 500, 400, 300 ^{O}C) и выдерживают при этих температурах до полного распада аустенита.

При построении диаграммы изотермического распада, для охлаждения образцов используют среды с высокой теплоемкостью (например, расплавы металлов), температура которых не меняется со временем.

Результаты исследований будет характеризовать кривая, показывающая количество распавшегося аустенита в зависимости от времени и степени переохлаждения (рис. 9.1).

Как видно из рисунка, в течении некоторого времени ($\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4, \tau_5$) распад аустенита не происходит. Это время называют «инкубационный период». Очевидно, что в течении инкубационного периода, аустенит будет являться термодинамически неустойчивой фазой («*переохлажденный аустенит*»). По прошествии инкубационного периода начнется распад переохлажденного аустенита, который полностью закончится через некоторое время τ_1', τ_2', τ_3', τ_4', τ_5'. Время начала и конца распада будет зависеть от степени переохлаждения аустенита.

Обратите внимание, что *при температурах 500-600 ^{O}C устойчивость переохлажденного аустенита минимальна* (мало время инкубационного периода). Дело в том, что устойчивость аустенита зависит от двух факторов, противоположно влияющих на скорость превращения. Снижение температуры (увеличение степени переохлаждения), с одной стороны, увеличивает разность свободных энергий (ΔF), что ускоряет превращение, а с другой — вызывает уменьшение скорости диффузии углерода D (см. рис. 9.2). Суммарное действие этих факторов приводит к тому, что вначале скорость превращения V возрастает, достигает максимума, а затем — убывает.

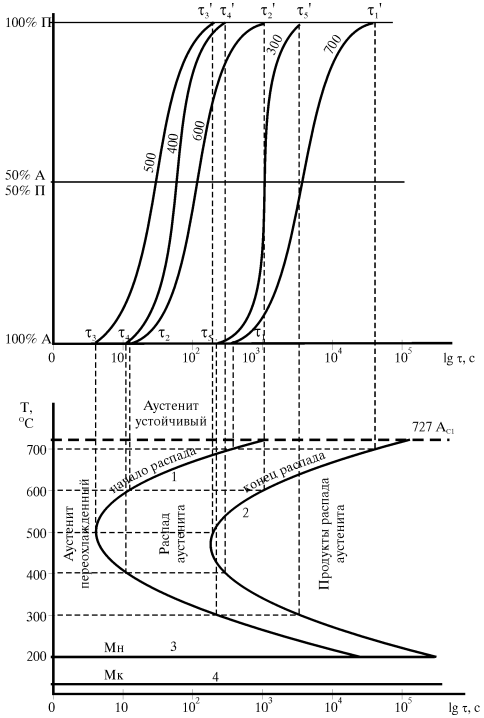


Рис. 9.1 Методика построения диаграммы изотермического распада переохлажденного аустенита

А – аустенит; П – перлит; $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4, \tau_5$ – время начала распада аустенита; τ_1', τ_2', τ_3', τ_4', τ_5' – время окончания распада аустенита; кривая 1 – начало распада аустенита; кривая 2 – окончание распада аустенита; кривая 3 – начало мартенситного превращения; кривая 4 – окончание мартенситного превращения.

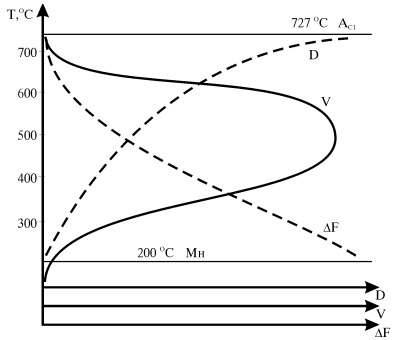


Рис. 9.2 Скорость распада аустенита V в зависимости от степени переохлаждения ΔF и скорости диффузии D

В предыдущей работе было отмечено, что одним из необходимых условий для протекания диффузии углерода является высокая температура. С уменьшением температуры скорость диффузии уменьшается, а при температурах ниже 200 °С скорость диффузии углерода будет равна нулю.

Следовательно, *при переохлаждении аустенита ниже 200 °С будет происходить его бездиффузионное (мартенситное) превращение*.

Построенные кривые, характеризующие кинетику распада переохлажденного аустенита (рис. 9.1) позволяют построить диаграмму изотермического распада переохлажденного аустенита. Для этого необходимо отрезки времени, соответствующие началу ($\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4, \tau_5$) и концу распада ($\tau_1'$, τ_2', τ_3', τ_4', τ_5') аустенита, для каждой из исследуемых температур (700, 600, 500, 400, 300 °С) перенести на график, на котором по шкале абсцисс откладывают время (обычно в логарифмическом масштабе), а по шкале ординат — температуру (рис. 9.1). Таким образом, *на* построенной диаграмме *кривая 1 будет соответствовать началу*, а *кривая 2 — концу распада аустенита*. Левее кривой *1* лежит область существования переохлажденного аустенита, между кривыми *1* и *2* — область распада аустенита, а правее кривой *2* — продукты распада. Так как диффузия углерода при температуре ниже 200 °С невозможна, то в этой области температур будет происходить мартенситное превращений. Линия *3* будет соответствовать началу мартенситного превращения (температура *Мн*). Линия *4* соответствует концу мартенситного превращения (температура *Мк*). Точка *Мк* обычно находится в области отрицательных температур.

На диаграмме изотермического распада различают три основных вида превращения: перлитное (диффузионное — происходящее при малых степенях переохлаждения), мартенситное (бездиффузионное — происходит при переохлаждении до температур ниже т. *Мн*) и бейнитное (промежуточное между диффузионным и бездиффузионным).

1. Продукты *перлитного* превращения имеют *пластинчатое строение и представляют собой феррито-цементитные смеси различной степени дисперсности*. Чем больше степень переохлаждения, тем тоньше феррито-цементитная структура (меньше расстояние между пластинками цементита и феррита Δ_o). Чем больше степень дисперсности феррито-цементитной смеси, тем выше предел прочности, твердость, пределы текучести и выносливости получаемых структур. Напротив, относительное удлинение и относительное сужение наивысшее у перлита. В зависимости от степени переохла-

ждения и дисперсности продуктов распада, в области перлитного превращения различают структуры перлита, сорбита и тростита*:

Межпластинчатое расстояние Δ_o и твердость НВ продуктов перлитного превращения

	Перлит	Сорбит	Тростит
Δ_o, мкм	0,6 – 1,0	0,25 – 0,30	0,20 – 0,15
НВ, МПа	1800 – 2500	2500 – 3500	3500 - 4500

2. *Бейнитное превращение* происходит в интервале температур ниже перлитного и выше мартенситного, поэтому его принято называть промежуточным. Обычно бейнит подразделяют на верхний и нижний, образующийся соответственно в верхнем и нижнем интервале температур бейнитного превращения.

3. Выделим ряд характерных особенностей *мартенситного превращения*:

1) Мартенситное превращение по своей сути является бездиффузионным. Концентрация углерода в мартенсите такая же, как и в исходном аустените.

2) Кристаллическая решетка мартенсита не кубическая, а тетрагональная (ОЦТ), при этом тетрагональность решетки (отношение c/a) увеличивается с ростом содержания в стали углерода.

3) Мартенситное превращение протекает в определенном интервале температур (начало — т. *Мн*, конец — т. *Мк*). Так как точка *Мк* лежит в области отрицательных температур, то превращение аустенита в мартенсит идет не до конца: в стали всегда существует остаточный аустенит.

1.2. Превращение аустенита при непрерывном охлаждении

После рассмотрения процессов распада аустенита при постоянной температуре (и разной степени переохлаждения) перейдем к рассмотрению процесса распада аустенита при непрерывном охлаждении, когда сталь охлаждают с разной скоростью. Диаграмма изотермического распада строится в координатах температура – время. В то же время скорость охлаждения есть не что иное, как $V_{охл} = \Delta T / \Delta \tau$ (то есть за момент времени $\Delta \tau$ температура изменилась на ΔT). Если на диаграмме изотермического распада провести наклонные линии (рис. 9.3, кривые $V_1, V_2 \ldots V_5$), то они будут соответствовать различным скоростям охлажения. Причем, чем больше наклон кривой, тем выше скорость охлаждения.

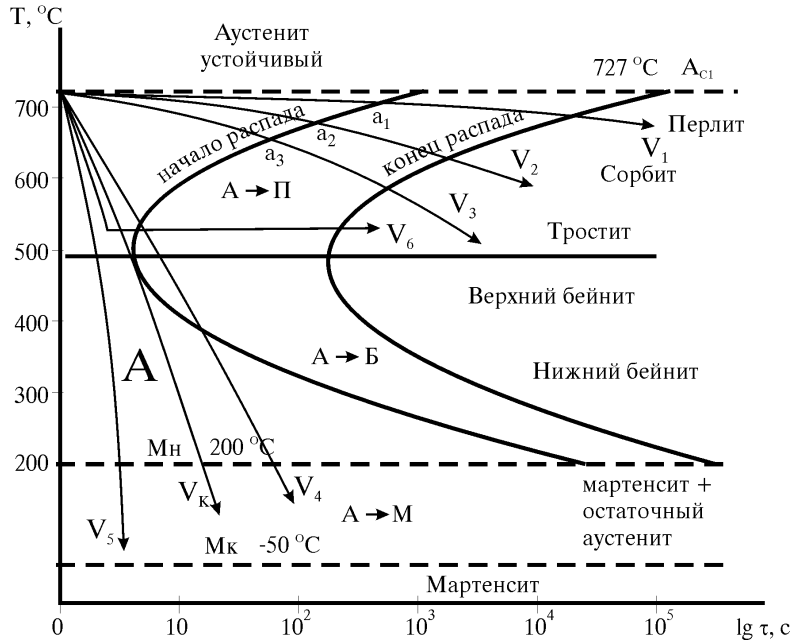


Рис. 9.3 Диаграмма изотермического распада переохлажденного аустенита (А – аустенит; Б – бейнит; П – перлит; М – мартенсит)

Линия V_1 характеризует медленное охлаждение. Аустенит, охлаждаясь со скоростью V_1, до начала распада переохладится до температуры, соответствующей т. a_1. В результате продуктом превращения будет перлит. При более быстром охлаждении кривые V_2 и V_3 пересекают линии диаграммы при более низких температурах (рис. 9.3, точки a_2 и a_3), образуя более дисперсные продукты распада.

Следовательно, чем выше скорость охлаждения, тем более дисперсными (а значит более твердыми и прочными) будут продукты превращения.

* Иногда в литературе встречается иное написание — троостит или трустит (названо по имени ученого — Troost)

При охлаждении со скоростью V_5 аустенит переохладится до низких температур и произойдет его превращение в мартенсит. Следовательно, для закалки стали ее необходимо охлаждать с такой скоростью, чтобы не успели произойти процессы распада аустенита в верхнем районе температур. Как видно из рис. 9.3, при охлаждении со скоростями, большими, чем V_K, образуется мартенсит (то есть происходит закалка).

Таким образом *критическая скорость охлаждения — минимальная скорость, при которой аустенит превращается в мартенсит* бездиффузионным (сдвиговым) путем.

При охлаждении со скоростью, немного менее критической (кривая V_4), аустенит в верхнем районе температур превратится лишь частично и структура будет состоять из тростита и мартенсита.

Таким образом, необходимым (но еще недостаточным) *условием мартенситного превращения* является: *скорость охлаждения должна быть больше, либо равна критической*.

Второе условие мартенситного превращения: предположим, сталь охлаждается со скоростью выше критической (кривая V_6). При температуре 550 ^{O}C охлаждение останавливается. Тогда аустенит распадается на феррито-цементитную смесь (тростит). Итак, *для получения структуры мартенсита необходимо охладить сталь до температуры ниже т. Мн*.

2. Исследовательская часть

2.1. Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя образцы сталей 45 и У10.

2. По диаграмме железо-цементи определить температуру нагрева под закалку этих сталей, определить время нагрева и выдержки в печи.

3. Измерить твердость образцов до ТО (прибор Роквелла, шкала С).

4. Загрузить образцы в лабораторные печи, предварительно нагретые до нужных температур, выдержать необходимое время.

5. Образцы охладить различных средах (воздух, кипящая вода, холодная вода, масло и 10% раствор NaCl в воде). Образцы, охлаждаемые на воздухе уложить на асбестовую прокладку.

6. Охлажденные образцы с помощь наждачной бумаги зачистить от окалины и измерить твердость на приборе Роквелла.

7. Результаты замера твердости занести в протокол исследований:

Таблица 9.1

Протокол исследований

Марка стали	Темп. нагр., ^{O}C	Время нагр. и выд., мин	Охлаждающая среда	$V_{охл}$ ^{O}C/с	Твердость HRC		Микроструктура
					то ТО	после ТО	
45			Воздух, 18^{O}C	3			
			Вода, 100^{O}C	30			
			Масло, 18^{O}C	150			
			Вода, 18^{O}C	600			
			10% NaCl, 18^{O}C	1200			
У10			Воздух, 18^{O}C	3			
			Вода, 100^{O}C	30			
			Масло, 18^{O}C	150			
			Вода, 18^{O}C	600			
			10% NaCl, 18^{O}C	1200			

8. Определить критическую скорость охлаждения для исследуемых сталей

9. По коллекции микрошлифов изучить микроструктуры сталей, термообработанных аналогичными способами, и сопоставить с полученными результатами по твердости.

10. По полученным результатам построить графики $HRC = f(V_{охл})$, причем скорость охлаждения взять в логарифмическом масштабе.

11. Провести анализ полученных результатов, сделать выводы по работе.

2.2. Содержание отчета по работе

1. Название и цель работы.

2. Методика построения диаграммы изотермического распада переохлажденного аустенита.

3. Привести диаграмму распада аустенита, указать области перлитного, бейнитного и мартенситного превращений, нанести скорости охлаждения, показать критическую скорость охлаждения.

4. Привести межпластичное расстояние и свойства перлита, тростита и сорбита.

5. Дать определение критической скорости охлаждения.

6. Указать условия и особенности мартенситного превращения.

7. Протокол исследований и графики (твердость – скорость охлаждения).

8. Самостоятельно (по учебнику) дать определение нормализации и отжига, привести цель этих ТО, структуру и свойства сталей.

9. Выводы по работе.

3. Контрольные вопросы

1. Почему распад аустенита, происходящий в изотермических условиях при температурах ниже A_{c1} и до t = 200 ^{O}C, называют диффузионным?

2. Какие факторы влияют на скорость диффузионного превращения переохлажденного аустенита?

3. Как производится построение диаграммы изотермического распада переохлажденного аустенита?

4. На какие фазы распадается переохлажденный аустенит при диффузионном превращении? Что общего, и в чем отличие в строении перлита, сорбита и тростита?

5. Дать определение критической скорости охлаждения.

6. Каковы условия мартенситного превращения? Объясните, почему охлаждение со скоростью, больше критической, не всегда приводит к образованию мартенсита.

РАБОТА 10. ОТПУСК УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Цель работы: ознакомиться с практикой проведения отпуска стали. Исследовать влияние температуры нагрева при отпуске на изменение структур и свойств различных марок стали.

1. Теоретическая часть

Отпуском называется *операция термообработки, заключающаяся в нагреве* ***закаленной*** *стали до температур* ***ниже*** A_{c1}, *выдержке и последующим охлаждением на воздухе*.

Цель отпуска — уменьшение внутренних напряжений, возникших при закалке, повышение пластичности и ударной вязкости стали. В результате отпуска достигается требуемый уровень прочности.

При отпуске неравновесная структура закаленной стали (мартенсит) переходит в более устойчивое состояние. Этот переход связан с диффузионным распадом мартенсита и остаточного аустенита, с образованием феррито-цементитной смеси. Структурные изменения в стали и связанные с этим изменения механических свойств сильно зависят от температуры отпуска.

В практике термообработки различают три вида отпуска: низкий, средний и высокий:

Низкий отпуск — нагрев до *(150…200)^{O}C*, вызывает частичное выделение углерода из мартенсита, что снижает искажения в его кристаллической решетке. При этом уменьшаются внутренние напряжения и немного повышается пластичность при небольшом снижении твердости. *Образующаяся структура называется отпущенный мартенсит*. *Низкотемпературный отпуск применяют для инструментальных сталей и для группы цементуемых (нитроцементуемых) сталей*.

Средний отпуск — нагрев до *(350…450)^{O}C*. При этом заканчивается выделение углерода из пересыщенного раствора, в результате мартенсит распадается на ферритно-цементитную смесь высокой степени дисперсности. Одновременно происходит распад остаточного аустенита также на ферритно-карбидную смесь. *Образовавшаяся структура называется троститом отпуска*. Такая структура обеспечивает высокий предел упругости стали. *Средний отпуск используют для конструкционных сталей*, в частности, для обработки элементов конструкций, деталей машин, у которых основным требованием является *наличие высокого предела упругости (рессоры, пружины, штампы и др.)*.

Высокий отпуск — нагрев изделий до *(550…650)^{O}C* — вызывает укрупнение частиц ферритно-цементитной смеси. Образующаяся структура получила название *сорбита отпуска*. Высокий отпуск почти полностью снимает внутренние напряжения и значительно повышает ударную вязкость и пластичность стали. Прочность и твердость снижаются, но остаются более высокими, чем после отжига. *Термическая обработка, состоящая из закалки и высокого отпуска, часто называется улучшением*. Улучшению подвергают главным образом ответственные тяжелонагруженные детали машин, испытывающие знакопеременные и ударные нагрузки (зубчатые колеса, валы, шатуны и т.п.).

Таким образом, структуры тростита и сорбита могут быть получены не только из аустенита, при охлаждении с различными скоростями, но и путем отпуска мартенсита.

При непрерывном охлаждении аустенита в образующейся ферритно-карбидной смеси цементит имеет пластинчатое строение, а при *отпуске закаленной стали цементитные частицы имеют зернистую форму*, чем объясняется различие свойств подобных структур закалки и отпуска.

Так, сорбит закалки более тверд и прочен (при тех же значениях относительного удлинения), чем сорбит отпуска и т.д.

Время нагрева до температуры отпуска определяется также, как и для других видов термообработки (1 мин на 1 мм круглого сечения; 1,5 мин на 1 мм — прямоугольного). Выдержку при отпуске берут 50% от времени нагрева.

2. Исследовательская часть

2.1. Порядок выполнения работы

1. Закалить в воде по 3 образца стали 45 и стали У10 и замерить их твердость на приборе Роквелла алмазным наконечником.

2. Провести отпуск закаленных образцов при температурах: 200^{O}C, 400^{O}C, 600^{O}C, для чего поместить по два образца каждой стали в печи, нагретые до указанных температур, и выдержать их по 20 мин. Охлаждение образцов провести на воздухе.

3. Зачистить образцы и замерить их твердость на приборе Роквелла.

4. На основании полученных данных составить сводную таблицу и построить график изменения твердости в зависимости от температуры отпуска для каждой марки стали *HRC = f(T)*.

Таблица 10.1

Протокол исследований

Марка стали	Температура нагрева при отпуске, ^{O}C	Вид отпуска	Время нагр. и выд. в печи	Твердость				Микроструктура
				После закалки		После отпуска		
				HRC	HB	HRC	HB	
45	200							
	400							
	600							
У10	200							
	400							
	600							

5. По коллекции микрошлифов изучить под микроскопом и занести в таблицу микроструктуру сталей, полученных при различных видах отпуска.

6. Сделать выводы по работе и заключение по рекомендации режима (вида) отпуска для конструкционных и инструментальных сталей.

7. Оформить письменный отчет.

2.2. Содержание отчета

1. Название, цель работы.
2. Определение отпуска, цель отпуска.
3. Привести виды отпуска, температуры нагрева при отпуске, образующиеся структуры и свойства сталей.
4. Привести определение «улучшения».
5. Самостоятельно (по учебнику) обосновать, почему при некоторых видах отпуска (при каких?) охлаждение ведется не на воздухе, а в воде (или в масле)
6. Привести протокол исследований и построить графики *HRC=f(T)*
7. Сделать выводы по работе.

3. Контрольные вопросы

1. Что такое отпуск стали? Его цель?
2. Какие превращения происходят при отпуске? Какие структуры образуются?
3. Как изменяются механические свойства сталей в зависимости от температуры нагрева при отпуске ?
4. Какие виды отпуска существуют в практике термообработки?
5. Какой вид отпуска применяется: для инструментальных, рессорно-пружинных сталей, конструкционных сталей, работающих в условиях динамических нагрузок? Почему?
6. Как называют вид термообработки, состоящий из закалки и высокого отпуска? Какова цель этого виды термообработки, структура, свойства и в каких случаях применяется этот вид термообработки?
7. Что называется отпускной хрупкостью? Причины и методы предотвращения отпускной хрупкости?

РАБОТА 11. ПРОКАЛИВАЕМОСТЬ СТАЛЕЙ

Цель работы: ознакомиться с понятием прокаливаемости, и ее практическим определением, исследовать влияние легирующих элементов и углерода на прокаливаемость.

1. Теоретическая часть

1.1. Понятие прокаливаемости. Факторы, влияющие на прокаливаемость

Под прокаливаемостью понимают способность стали закаливаться на определенную глубину.

Прокаливаемость не следует путать с *закаливаемостью (то есть способностью стали упрочняться при ТО)*. Прокаливаемость измеряется в мм, а закаливаемость — в единицах твердости (HRC, HB)

Несквозная прокаливаемость стали объясняется тем, что при закалке (даже в сильно охлаждающей среде) скорость реального охлаждения любой детали на поверхности больше, чем в сердцевине. Так, например, в цилиндрическом образце (рис. 11.1) скорости охлаждения от поверхности к сердцевине изменяются по параболической кривой от $V_{\max}$ до $V_{\min}$.

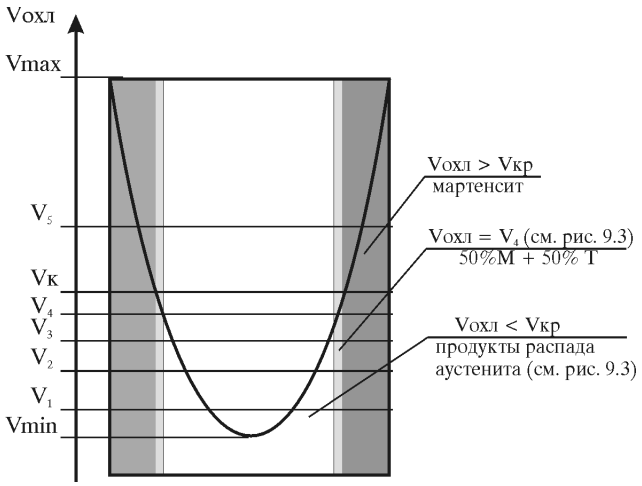


Рис. 11.1 Схема, объясняющая неполную прокаливаемость углеродистых сталей

В то же время каждая сталь, как известно, имеет свое определенное значение критической скорости ($V_{кр}$) и структура мартенсита при закалке образуется только при условии, если $V_{охл} > V_{кр}$. В нашем случае $V_{кр}$ лежит между $V_{\max}$ и $V_{\min}$, поэтому в заштрихованном слое, где $V_{охл} > V_{кр}$ при закалке образуется структура мартенсита.

Для более глубинных слоев, где $V_{охл} < V_{кр}$, образуются структуры ферритно-карбидных смесей: тростит, сорбит, перлит, т.е. эти слои не закалились на мартенсит и соответственно будут иметь меньшую твердость и прочность.

Практически *за глубину прокаливаемости принимают расстояние от поверхности изделия до слоя, имеющего 50% мартенсита и 50% тростита* (полумартенситная зона).

На величину прокаливаемости стали влияют несколько факторов и прежде всего — химический состав.

С увеличением содержания углерода и легирующих элементов (Mn, Cr, Ni, Mo, W, V, Ti) *увеличивается устойчивость переохлажденного аустенита* — правее расположены линии диаграммы изотермического распада (рис. 11.2). Следовательно, уменьшается значение $V_{кр}$ и больше будет величина прокаливаемости.

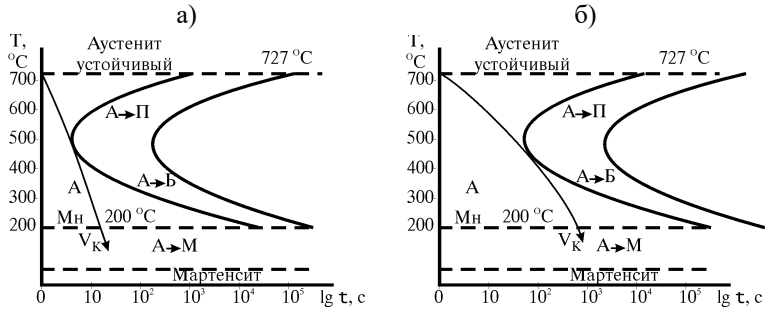


Рис. 11.2 Диаграмма изотермического распада переохлажденного аустенита углеродистой (а) и легированной стали (б)

Большей прокаливаемости способствует также более сильно охлаждающая среда, например одна и та же сталь при охлаждении в воде закалится на большую глубину, чем при охлаждении в масле.

Характеристикой прокаливаемости служит критический диаметр $D_к$, то есть наибольший диаметр цилиндрического прутка, который в результате закалки в данной охлаждающей среде получил мартенситную или полумартенситную структуру в центре образца. В случае, если в центре образца получена полумартенситная структу-

ра, критический диаметр обозначается D_{50}. Однако часто важно знать значение диаметра, где содержание мартенсита выше — 95% или 99,5%. В этом случае критический диаметр обозначается D_{95} или $D_{99,5}$.

Чтобы не ставить прокаливаемость в зависимость от закалочной среды, введено понятие — идеальный критический диаметр D_∞.

Это диаметр максимального сечения, прокаливающегося насквозь в идеальной жидкости (то есть жидкости, отнимающий тепло с поверхности с бесконечно большой скоростью). Значения $D_к$ и D_∞ определяют методом торцовой закалки (см. пункт 1.2)

Углеродистые стали имеют $D_к = (5...10)$ *мм*, а легированные значительно больший — (10…200) *мм*.

Прокаливаемость — важная характеристика сталей, она имеет большое практическое значение, так как является одним из главных критериев при выборе той или иной марки стали для изготовления конструкций, деталей машин, инструментов, штампов и т.д.

Следует отметить, что прокаливаемость одной и той же стали может колебаться в значительных пределах в зависимости от колебаний химического состава, величины зерна, размера и формы изделия и многих других факторов. Поэтому обычно прокаливаемость стали характеризуют не кривой, а так называемой «полосой прокаливаемости».

1.2. Определение прокаливаемости методом торцовой закалки

Практическое определение прокаливаемости стали проводится методом торцовой закалки. Испытания проводят на образцах цилиндрической формы определенного размера (диаметром 25 мм и длиной 100 мм).

Образец исследуемой стали нагревают до температуры закалки, дают выдержку, затем быстро охлаждают с торца в специальной установке струей воды в течение 10-15 минут (рис. 11.3).

После этого по длине образца сошлифовывается плоская площадка глубиной 0,2 мм. Далее на приборе Роквелла измеряется твердость по длине образца от закаленного торца через каждые 1,5 мин. По полученным данным строится график зависимости твердость – расстояние от торца. По этому графику определяется расстояние от охлаждаемого торца до слоя имеющего твердость полумартенситной (или мартенситной) зоны.

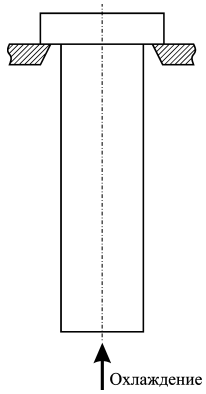


Рис. 11.3 Установка торцовой закалки

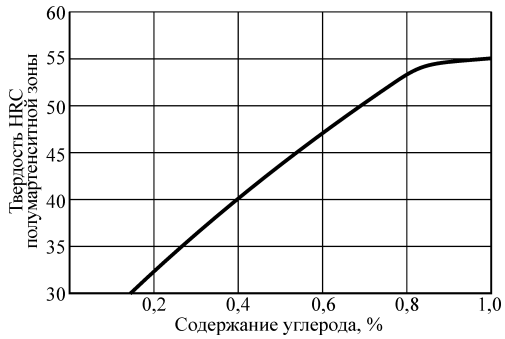


Рис. 11.4 Твердость полумартенситной зоны в зависимости от содержания углерода в стали

Величина твердости полумартенситной зоны, т.е. зоны, содержащей 50% мартенсита + 50% тростита, определяется по заранее построенному графику (рис.11.4) — твердость полумартенситной зоны – содержание углерода в стали.

Далее, зная расстояние от торца до полумартенситной зоны, по специальной номограмме ("номограмма Блантера"),имеющейся в лаборатории, определяется критический диаметр ($D_к$) при охлаждении в воде или масле.

Способ пользования номограммой приведен на рис.11.5.

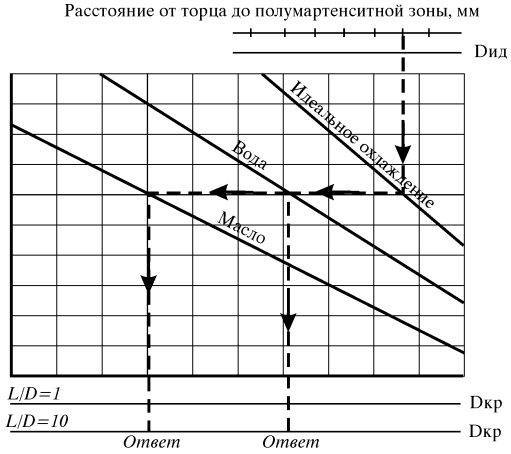


Рис. 11.5 Схема пользования номограммой Блантера

2. Исследовательская часть

2.1. Порядок выполнения работы

1. Получить у лаборанта образцы сталей 45 и 40Х
2. По диаграмме железо-цементит определить температуры нагрева под закалку данных сталей и рассчитать время термообработки.
3. Загрузить образцы в лабораторные печи, предварительно нагретые до заданных температур и выдержать необходимое время.
4. Нагретые образцы поместить в устройство торцовой закалки и охладить с торца в течении (10…15) мин.
5. По длине образца сошлифовать плоскую площадку глубиной 0,2 мм и приклеить бумажную линейку.
6. По графику (рис. 11.4) определить значение твердости полумартенситной зоны для стали 45 и 40Х.
7. На приборе Роквелла произвести замеры твердости по длине образца через каждые 1,5 мм. Результаты замеров занести в таблицу:

Таблица 11.1

Протокол исследований

Марка стали	1,5	3,0	4,5	6,0	7,5	…	20,0
45							
40Х							

8. Для каждой из исследуемых сталей построить графики HRC = f(h). Определить расстояние от торца до полумартенситной зоны.
9. По номограмме Блантера определить значение критического диаметра при охлаждении в воде и масле. Результаты занести в таблицу:

Таблица 11.2

Протокол исследований

Марка стали	Твердость HRC полумартенситной зоны	Расстояние от торца до полумартенситной зоны, мм	Охлаждающая среда	$D_к$, мм
45			Вода	
			Масло	
40Х			Вода	
			Масло	

10. Провести анализ полученных результатов, сделать вывод о влиянии легирующих элементов на величину критического диаметра.

2.2. Содержание отчета

1. Привести основные теоретические сведения о прокаливаемости.
2. Дать определение критического диаметра.
3. Привести рис. 11.1; 11.2; 11.3, сделать соответствующие подписи к рисункам.
4. Привести схему определения критического диаметра методом торцовой закалки.
5. По результатам исследований заполнить таблицы (п. 7 и 9 раздела 2.1), построить графики HRC = f (h).
6. Выводы по работе.

3. Контрольные вопросы

1. Что такое прокаливаемость?
2. Чем объяснить несквозную прокаливаемость деталей?
3. Какие факторы влияют на величину прокаливаемости сталей?
4. Какая связь существует между значением $V_{кр}$ и прокаливаемостью?
5. Что понимается под $D_к$?
6. Как практически определить прокаливаемость?
7. Каково значение этой характеристики для легированных и углеродистых сталей?
8. Каково влияние легирующих элементов на устойчивость аустенита, критическую скорость и критический диаметр?

РАБОТА 12. ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА (ЦЕМЕНТАЦИЯ)

Цель работы: ознакомление с основами процесса цементации, изучение структур, свойств, термической обработки цементованных сталей.

1. Теоретические сведения

1.1. Основы процесса химико-термической обработки

В современном машиностроении для повышения твердости, износостойкости, коррозийной стойкости или придания каких-либо других свойств поверхностным слоям изделий применяют химико-термическую обработку. Она заключается в нагреве и диффузионном насыщении поверхностных слоев сталей (деталей) различными элементами: углеродом (цементация), азотом (азотирование), углеродом и азотом вместе (цианирование или нитроцементация), хромом (хромирование) и т.д.

При химико-термической обработке происходит изменение химического состава, структуры, а следовательно, и свойств поверхностных слоев.

Наиболее широко в машиностроении, в том числе судовом, применяют цементацию и азотирование.

Цементации обычно подвергаются детали, поверхности которых несут значительные удельные нагрузки (работающие на истирание) и одновременно динамические нагрузки (изгибы, растяжение, кручение). К таким деталям, например, относятся шестерни, зубчатые передачи, поршневые пальцы, оси, валы и т.п.

Для цементации применяются низкоуглеродистые стали (0,15...0,25 %С), у которых при насыщении углеродом (с последующей закалкой) получается высокая твердость, износостойкость в поверхностных слоях, а сердцевина изделий остается вязкой, мягкой. К цементируемым сталям относятся марки: 15, 20, 25, 15Х, 20Х, 12ХН3А, 18ХНВА, 18ХГТ и т.д.

При химико-термической обработке происходит диффузионный процесс внедрения атомов насыщающей среды в кристаллическую решетку основного металла. В частности, при цементации идет диффузионное внедрение атомов углерода в решетку Fe_γ .

Осуществляется этот процесс путем длительной выдержки стали при температуре (930...950)^{O}С в среде, содержащей активные атомы углерода, называемой карбюризатором (древесный уголь, природные газы и т.д.). *Выбор такой температуры цементации обусловлен необходимостью получения у стали аустенитного состояния, в котором происходит растворение атомов углерода до концентрации (1…1,2) %* (диаграмма Fe – Fe_3C, линия SE).

Глубина цементованного слоя зависит от времени цементации:

$$y = k \cdot \sqrt{\tau} ,$$

где y – глубина слоя, мм;

k – коэффициент, постоянный для каждого сплава;

τ – время цементации, ч.

Время, требуемое для получения цементованного слоя, зависит от вида цементации и находится в пределах от 3 до 30 часов.

Глубина цементованного слоя в изделиях (0,5…2,5) мм; чем больше удельные нагрузки, тем толще должен быть слой.

Структура цементуемой стали в исходном состоянии представляет собой феррит с небольшим количеством перлита.

В результате цементации содержание углерода в поверхностном слое достигает (1…1,2) % и постепенно уменьшается по мере удаления от поверхности вглубь до исходного содержания его в стали. Таким образом, структура цементованного слоя (рис.12.1) будет изменяться от заэвтектоидной зоны на самой поверхности (П + $Ц_{II}$), к эвтектоидной (П) и затем переходной зоне (П+Ф), и чем ближе к сердцевине, тем феррита будет больше, а перлита меньше.

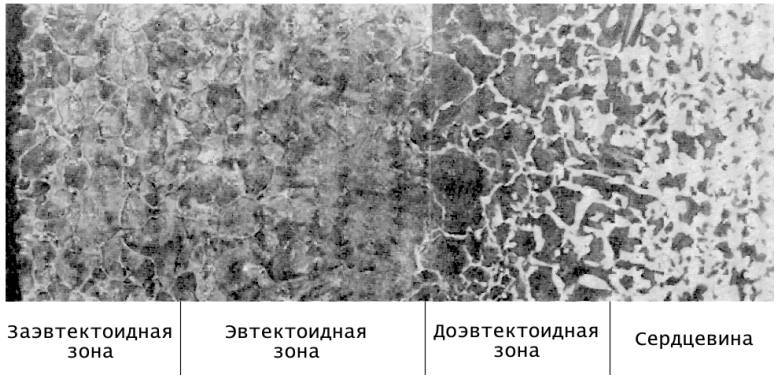


Рис. 12.1 Микроструктура цементованного слоя (× 600)

За глубину цементованного слоя принимают расстояние от поверхности до слоя, содержащего 50% феррита и 50% перлита.

1.2. Термическая обработка после цементации

Цементация создает в деталях нужное распределение углерода от поверхности вглубь. Чтобы получить наиболее высокую твердость слоя, необходимо еще произвести термическую обработку цементованных изделий.

Характерной термической обработкой таких изделий является *закалка с последующим низким отпуском, в результате которой по-*

верхность цементованного слоя получает структуру мартенсита отпуска.

Структура и свойства сердцевины зависят от химического состава стали и вида диаграммы изотермического превращения аустенита. В углеродистых сталях структура сердцевины — феррит+перлит; в сталях 20Х - 30Х – игольчатый тростит; в 20ХНМ и 18ХНВА – малоуглеродистый мартенсит.

Иногда после цементации в стали получается крупное зерно или образуется сплошная цементитная сетка. Для устранения этих нежелательных явлений, т.е. для исправления структуры, необходимо делать нормализацию при температуре (900…910)^{O}С или высокотемпературную закалку, после чего опять произвести обычную закалку с температур (760…780)^{O}С и низкий отпуск при (160…180)^{O}С.

Согласно требованиям ГОСТ цементованные изделия должны иметь твердость поверхности 60-62 HRC, структуру мартенсита отпуска (не допускается сплошная цементитная сетка).

1.3. Технологические основы цементации

В производстве применяют твердую и газовую цементацию.

При твердой цементации детали укладывают в металлический ящик, засыпают твердым карбюризатором — смесью древесного угля (70-90%) с активизирующими добавками солей $BaCO_3$, Na_2CO_3 или K_2CO_3 (10-30%); ящик закрывают крышкой, замазывают глиной и помещают в печь, разогретую до температуры (930…950)^{O}С (рис. 12.2).

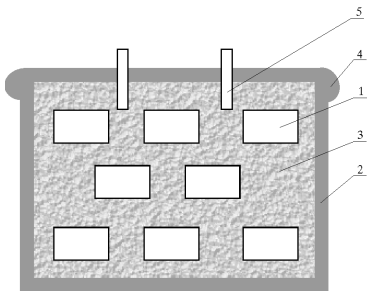


Рис. 12.2 Схема размещения деталей в цементационном ящике
1 – деталь; 2 – ящик; 3 – карбюризатор; 4 – крышка; 5 – образцы-свидетели

Для контроля за ходом процесса в ящик, через отверстие в крышке, вставляют образцы-свидетели. При высокой температуре углерод угля соединяется с кислородом воздуха, и образует окись углерода — CO, которая в присутствии железа (деталей) легко диссоциирует.

Твердая цементация мало производительна, протекает длительно и имеет еще ряд недостатков, поэтому ее применяют в основном в условиях мелкосерийного производства.

Более прогрессивной и производительной является газовая цементация. При газовой цементации детали загружают в специальные цементационные печи, через который пропускают углеродсодержащий газ, чаще всего предельные углеводороды, разложение которых приводит к образованию атомарного углерода:

$$C_nH_{2n} \rightarrow 2nH + C_{am}$$
$$C_nH_{2n+2} \rightarrow (2n+2)H + C_{am}$$

Обычно цементацию производят природным газом, содержащим (92…94)% CH_4 (метана). Основными преимуществами газовой цементации являются: экономичность; высокая производительность; удобство контроля и регулировки глубины слоя (рис. 12.3); возможность закалки непосредственно с цементационного нагрева; чистота рабочих мест и экономия площадей.

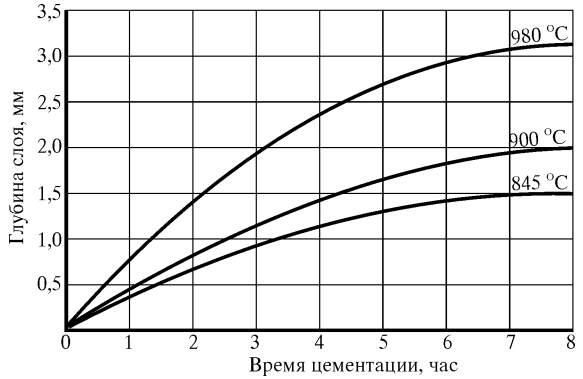


Рис. 12.3 Глубина слоя в зависимости от от температуры и времени при газовой цементации

Газовая цементация требует специального оборудования (цементационные шахтные печи и подводка газа) и поэтому применяется только в серийном, крупносерийном и массовом производствах.

2. Исследовательская часть

2.1. Порядок выполнения работы

1. Проработав теоретические сведения, получить микрошлифы для исследования.

2. С помощью микроскопа МИМ-7 при увеличении ×135 исследовать структуру этих образцов, установить, как идет изменение структуры от поверхности образца вглубь, зарисовывать структуры.

3. Указать отдельные зоны цементованного слоя, структурные и фазовые составляющие (Ф, П, $Ц_{П}$).

4. С помощью окуляр-микрометра определить глубину цементованного слоя. Для этого нужно подсчитать число делений линейки окуляр-микрометра, в который помещается цементованный слой, и затем это число умножить на цену одного деления окуляр-микрометра. При увеличении окуляра ×7 и объектива ×9 цена одного деления окуляр-микрометра равна 0,018 мм.

5. На приборе Роквелла измерить твердость сердцевины и поверхности цементованных образцов до и после ТО. Полученные данные заносятся в таблицу:

Таблица 12.1

Протокол исследований

Марка стали	Твердость							
	После цементации				После цементации и ТО			
	Поверхность		Сердцевина		Поверхность		Сердцевина	
	HRC	HB	HRC	HB	HRC	HB	HRC	HB
18ХГТ								

6. По полученным данным сделать выводы о влиянии цементации и ТО на структуру и свойства сталей.

2.2. Содержание отчета

1. Описание теоретических основ процесса цементации.
2. Схематические рисунки структур стали после цементации.
3. Определение глубины цементованного слоя.
4. Результаты измерения твердости, записанные в таблицу.
5. Краткие выводы по каждому заданию

3. Контрольные вопросы

1. В чем сущность и какова цель химико-термической обработки; цементации?
2. Какие стали подвергаются цементации?
3. При какой температуре производится цементация и в каких средах? Чем обусловлен выбор температуры?
4. Каковы пределы глубины цементованного слоя в изделиях, от чего она зависит?
5. Сколько углерода содержится в цементованном слое?
6. Какие виды цементации вам известны?
7. Какова структура стали в цементованном слое, в сердцевине?
8. Какой термообработке подвергают цементованные изделия, для какой цели?
9. Какова структура цементованного слоя и твердость сталей после термообработки?
10. Как практически определить глубину цементованного слоя на микроскопе?
11. При каких условиях эксплуатации детали целесообразно подвергать цементации? Назовите примеры таких деталей.

РАБОТА 13. ЛЕГИРОВАННЫЕ СТАЛИ

Цель работы: изучить виды классификации, маркировку, свойства, область применения и особенности термообработки легированных сталей

1. Теоретическая часть

1.1. Общие сведения

Выясним, что называется легированной сталью и легирующими элементами.

В соответствии с общепринятой классификацией, все химические элементы в сталях можно условно разделить на четыре группы:

1) *Постоянные примеси* – марганец, кремний, алюминий и титан, вводимые в сталь в процессе ее раскисления. К постоянным примесям относятся также сера и фосфор, полностью избабиться от которых при массовом производстве сталей невозможно.

2) *Скрытые примеси* – кислород, водород и азот. Методы определения этих элементов в сталях сложны, поэтому их содержание в технических условиях и ГОСТ обычно не указывается.

3) *Случайные примеси* – элементы, попадающие в сталь из шихтовых материалов (руда, стальной лом – скрап).

4) *Легирующие элементы* – элемента, специально вводимые в сталь в *определенных концентрациях* с целью изменения ее структуры и свойств.

Таким образом, легированной называется сталь, содержащая один или несколько специальных (легирующих) элементов (титан, хром, вольфрам, ванадий, марганец, кремний и др.) с целью повышения механических характеристик или придания специальных физико-химических свойств (антикоррозийной стойкости, высокого удельного сопротивления и магнитной проницаемости и т.д.).

1.2. Маркировка легированных сталей

Легированные стали маркируются цифрами и буквами *русского алфавита*, показывающими примерный состав стали.

Первые две цифры показывают *примерное содержание в стали углерода в сотых или десятых долях процента*. Для инструментальных сталей при содержании углерода ~ 1% *первые две цифры допускается опускать*.

Число, следующее за буквой, показывает содержание легирующих элементов *в процентах*. В случае, если легирующий элемент находится в стали в количестве менее или около 1% число также опускают.

Буквы обозначают следующие легирующие элементы:

А – азот;	*Б – ниобий;*	*В – вольфрам;*	*Г – марганец;*
Д – медь;	*К – кобальт;*	*М – молибден;*	*Н – никель;*
П – фосфор;	*Р – бор;*	*С – кремний;*	*Т – титан;*
Ф – ванадий;	*Х – хром;*	*Ч – редкоземельные металлы;*	
Ю – алюминий			

Если буква А стоит *в конце марки*, то это говорит о том что в стали ограничено содержание вредных примесей (S и P), то есть данная сталь относиться к *высококачественным*.

Примеры:

40Х (0,40% C; ~ 1% Cr);
12Х18Н9 (0,12% C; 12% Cr; 9% Ni);
9ХС (0,9% C; ~ 1% Cr; ~ 1% Si);
ХВГ (~ 1% C; ~ 1% Cr; ~ 1% W; ~ 1% Mn);
38ХМЮА (0,38% C; ~1% Cr; ~1% Mo; ~1% Al; высококачественная).

1.3. Классификация легированных сталей

Легированные стали классифицируются по структуре, химическому составу и назначению.

Вводимые в сталь легирующие элементы вступают во взаимодействие с железом, углеродом и другими присутствующими элементами, в результате чего происходит изменение структуры, механических и физических свойств.

По структуре в равновесном состоянии, в зависимости от степени легированности, стали подразделяются на классы:

1. Перлитный;
2. Аустенитный;
3. Ферритный;
4. Ледебуритный (карбидный).

Кроме того, встречаются стали промежуточных классов – полуферритный, полуаустенитный.

Изменение структуры и свойств связано с растворением легирующих элементов в феррите и цементите, с образование соответственно легированного феррита и легированного цементита, специальных карбидов и интерметаллических соединений. Появление новых классов, по сравнению с углеродистыми сталями, связано с влиянием легирующих элементов на критические точки A_1, A_3, а также на смещение линии SE в сторону меньших концентраций углерода (влево).

Некоторые легирующие элементы (Ni, Mn) смещают точку A_1 до температур, ниже комнатных, тем самым обеспечивая существование устойчивого аустенита при комнатной температуре.

Стали ферритного класса содержат повышенное количество элементов, растворяющихся в феррите (Cr, Si), и небольшое количество углерода (0,1-0,4%). Эти элементы, расширяют область существования α-фазы, вследствие этого сталь имеет структуру легированного феррита при любой температуре.

Стали карбидного класса (в равновесном состоянии) имеют высокое содержание углерода и карбидообразующих элементов W, Cr, V. Вследствие этого структура таких сталей состоит из включений специальных карбидов в основной структуре. В литом состоянии наблюдается карбидная эвтектика, поэтому эти стали иногда называют сталями ледебуритного класса. Большое количество карбидов придает сталям высокую твердость, износостойкость и высокие режущие свойства, а поэтому эти стали применяются для изготовления инструмента.

По структуре после охлаждения на воздухе различают стали перлитного, мартенситного и аустенитного классов.

Рассмотрим диаграммы изотермического распада переохлажденного аустенита для сталей этих классов (рис. 13.1). На рисунке нанесена кривая, соответствующая охлаждению на воздухе (нормализации).

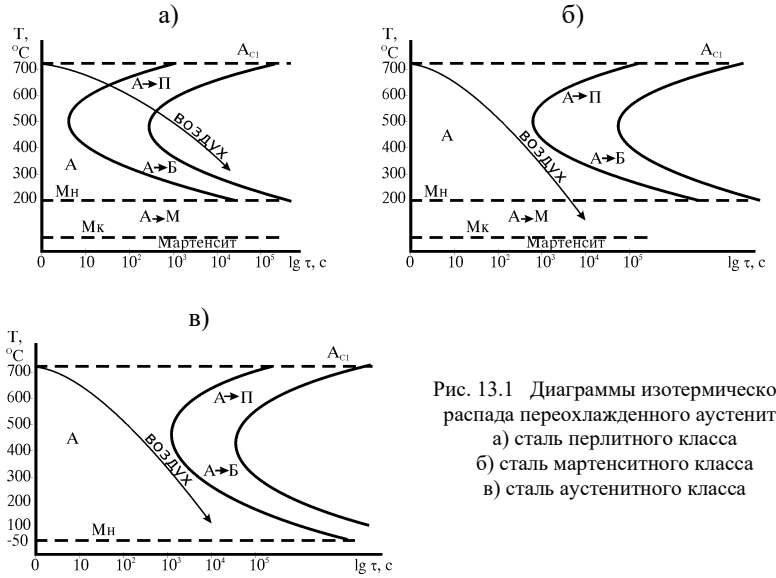


Рис. 13.1 Диаграммы изотермического распада переохлажденного аустенита
а) сталь перлитного класса
б) сталь мартенситного класса
в) сталь аустенитного класса

К сталям перлитного класса относятся стали с низким содержанием легирующих элементов (суммарное содержание легирующих элементов до 4…6%). *Кривая нормализации пересекает кривую изотермического превращения в перлитной области, где образуются структуры перлита, сорбита, тростита*.

К мартенситному классу относятся стали с более высоким содержанием легирующих элементов (суммарное содержание легирующих элементов от 4 до 14%). *Кривая изотермического превращения для этих сталей располагается правее* (большая устойчивость аустенита), кривая нормализации не пересекает С-образную кривую, аустенит переохлаждается до точки Мн, образуя *мартенситную структуру*.

К аустенитному классу относятся стали с высоким содержанием легирующих элементов (главным образом Ni и Mn).

В этих сталях не только кривая изотермического превращения сдвинута вправо, но также понижена точка начала мартенситного превращения Мн; она располагается при температурах ниже комнатной. В этом случае кривая нормализации не пересекает С-образную кривую и не доходит в процессе охлаждения до точки Мн, в связи с чем в структуре сохраняется аустенит.

Структуры легированных сталей различных классов приведены на рис. 13.2.

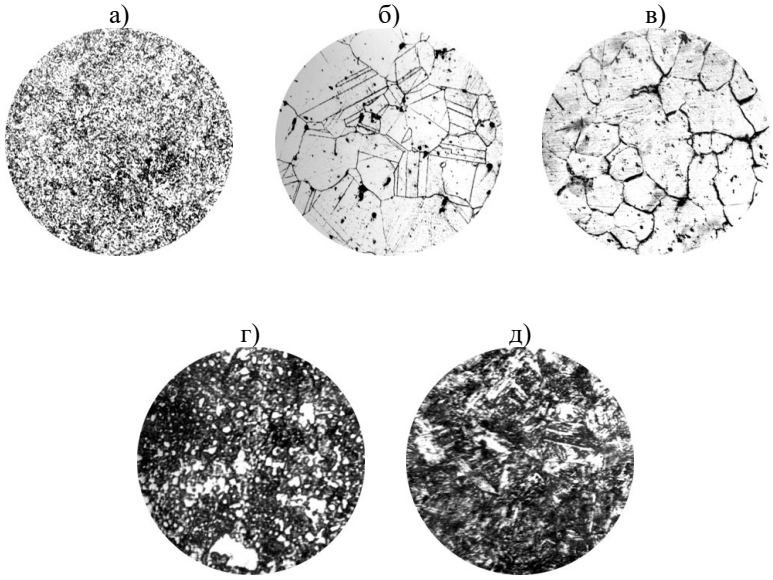


Рис. 13.2 Микроструктура легированных сталей (х 135)
а) перлитного класса; б) аустенитного класса; в) ферритного класса;
г) ледебуритного класса; д) мартенситного класса

По химическому составу, в зависимости от входящего элемента, сталь будет называться: Cr — хромистая; Mn — марганцовистая; Cr и Ni - хромоникелевая и т.д.

По назначению легированные стали делятся на три класса:

1. *Конструкционные* — машиностроительные и строительные, которые применяются для изготовления деталей машин и механизмов и ответственных механических конструкций. Они должны обладать хорошим сочетанием механических свойств, а строительные стали, кроме того, хорошей свариваемостью.

2. *Инструментальные* — применяются для изготовления высококачественного режущего, ударно-штампового и мерительного инструмента. Эти стали должны обладать высокой твердостью, красностойкостью, большим сопротивлением износу и удару.

3. *Стали с особыми физическими, химическими, магнитными* и др. *свойствами*.

1.4. Особенности термической обработки легированных сталей

При термической обработке легированных сталей происходят в основном те же процессы, что и при термической обработке углеродистых сталей. Но легирующие элементы влияют на положение критических точек при нагреве, на изотермический распад аустенита, на критическую скорость закалки, на прокаливаемость, на температуру мартенситного превращения, на превращения при отпуске. Так, все легирующие элементы, за исключением кобальта, замедляют изотермический распад аустенита. Кривые изотермического распада при этом смещаются вправо, что способствует уменьшению критической скорости закалки (рис.11.2).

В связи с уменьшением критической скорости закалки охлаждать легированную сталь можно значительно медленнее по сравнению с углеродистой сталью. Поэтому закалку легированных сталей производят в масле. Нагрев легированных сталей при закалке идет до более высоких температур, так как повышается температура точек A_{C1} и A_{C3}.

Прокаливаемость легированных сталей непосредственно связана с устойчивостью аустенита и критической скоростью закалки. Чем больше устойчив аустенит и меньше критическая скорость закалки, тем больше прокаливаемость. При отпуске легированных сталей идут в основном те же процессы — распад мартенсита и остаточного аустенита.

Однако многие легирующие элементы (W, V, Ti, Cr, Mn и т.д.) замедляют распад этих фаз, смещая его в область более высоких температур и требуют большего времени выдержки. За счет этого твердость отпущенных легированных сталей сохраняется до более высоких температур, чем у углеродистых.

2. Практическая часть

2.1. Порядок выполнения работы

1. Изучить особенности микроструктуры сталей различных классов на микроскопе МИМ-7 (по коллекции образцов).
2. Произвести термическую обработку сталей 40, 40Х, 40ХС.
2.1. Замерить исходную твердость образцов.
2.2. Выбрать температуры закалки сталей 40, 40Х, 40ХС.
2.3. Произвести нагрев и охлаждение образцов этих сталей в воде.
2.4. Замерить твердость образцов после закалки.
2.5. Провести отпуск образцов при температуре 200, 400 и 600 ^{O}C.
2.6. Замерить твердость после отпуска.
2.7. Результаты замеров занести в таблицу 13.1:

Таблица 13.1

Протокол исследований

Марка стали	Температура нагрева под закалку, ^{O}C	Температура отпуска, ^{O}C	Твердость HRC		
			Исходная	После закалки	После отпуска
40		200			
		400			
		600			
40Х		200			
		400			
		600			
40ХС		200			
		400			
		600			

3. Проанализировать влияние легирующих элементов на твердость после закалки и отпуска.
4. На основе полученных данных построить график зависимости твердости от температуры отпуска для каждой стали.

2.2. Содержание отчета

1. Основные классы легированных сталей.
2. Схематические рисунки и описание структур легированных сталей.
3. Описание особенностей термообработки легированных сталей.
4. Протокол исследований и графики «Температура отпуска – твердость».
5. Выводы о влиянии легирующих элементов на термическую обработку и свойства стали.

3. Контрольные вопросы

1. Как классифицируются легированные стали по назначению, структуре в равновесном и нормализованном состоянии?
2. Каким образом влияют легирующие элементы на свойства сталей, устойчивость фаз, температуру критических точек?
3. В чем особенности термической обработки легированных сталей?

РАБОТА 14. МЕДЬ И СПЛАВЫ НА ЕЕ ОСНОВЕ. БАББИТЫ

Цель работы: изучение структур, свойств, маркировки и применения цветных сплавов.

1. Теоретическая часть

1.1. Общие сведения

Цветные металлы и сплавы широко применяются в судостроении, в судовом машино- и приборостроении, при постройке кораблей, судов и плавсредств всех классов, типов и назначений.

Цветные металлы и их сплавы применяют в виде катаных, прессованых и тянутых полуфабрикатов: листы, плиты, полосы, ленты, трубы, прутки, профили, проволока.

1.2. Медь

Состав и назначение технической меди регламентируется ГОСТ 859-78,включающим 5 марок меди чистотой от 99 до 99,5%.

Медь – металл красного цвета, имеет кристаллическую решетку гранецентрированного куба, температуру плавления – 1083 ^{O}C, удельный вес – 8,9 г/куб.см.

Микроструктура прокатанной и отожженной меди представляет собой неправильно ограненные кристаллы с наличием двойников.

Кристаллы имеют розовую окраску, но вследствие анизотропии и разной кристаллографической ориентации кристаллов одни из них кажутся темнее, чем другие (рис. 14.1).

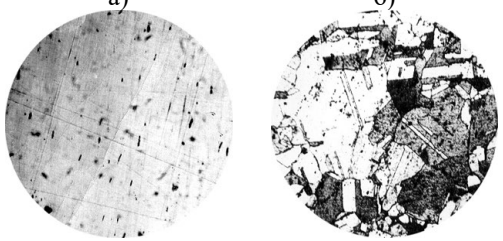


Рис. 14.1 Микроструктура меди (× 100)
а) до травления
б) после травления

Наиболее ценными техническими свойствами меди, которые обуславливают ее широкое применение, являются:

1. Высокая электропроводность (второе место после серебра).Это свойство делает ее важнейшим материалом в электротехнике.

2. Высокая теплопроводность. Вследствие этого медь служит ценным материалом для изготовления корпусов холодильно- и теплообменных аппаратов.

3. Высокая коррозийная стойкость. Техническая медь устойчива против атмосферной коррозии и коррозии в пресной воде.

В связи с этим медные трубы применяются для трубопроводов забортной воды, топливных и масляных систем.

Медь хорошо деформируется в горячем и холодном состоянии. При холодной деформации, а также после обработки резанием медь сильно наклепывается, что приводит к резкому увеличению предела текучести, к снижению пластических свойств. *Для снятия наклепа и увеличения предела текучести* (перед дальнейшей обработкой: протяжкой, калибровкой, развальцовкой) *рекомендуется полный отжиг при температурах 500-700 ^{O}C с последующим охлаждением в воде или на воздухе*.

Медь марок М0, М1, М2, М3, М4 сваривается удовлетворительно всеми известными в настоящее время способами сварки и хорошо паяется мягкими и твердыми припоями.

Основные вредные примеси меди — кислород, висмут, свинец.

1.3. Латуни

Латунями называются сплавы меди с цинком. В промышленности *применяются латуни, содержащие до 44% цинка*. Сплавы с большим содержанием цинка, ввиду их малой пластичности, не применяются.

Многие ценные свойства латуней зависят от их структуры.

Как видно из диаграммы Cu – Zn (рис. 14.2), *сплавы, содержащие до 39% Zn ,состоят из однородного твердого раствора цинка в меди – α-фазы. Эти сплавы называют α-латунями. Сплавы, содержащие от 39 до 44% цинка, соответственно диаграмме, имеют двухфазную структуру, называют двухфазными или α+β-латунями*.

Микроструктура α-латуни (рис. 14.3 – а) представляет собой однородные кристаллы в форме многогранников. Кристаллы имеют желтую окраску, но вследствие анизотропии одни кристаллы кажутся светлыми, другие темными.

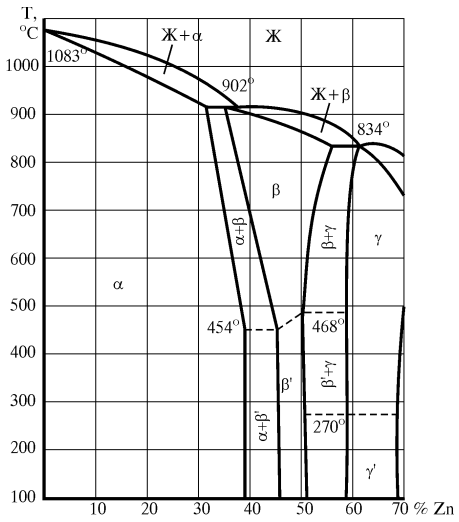


Рис. 14.2 Диаграмма состояния Cu-Zn

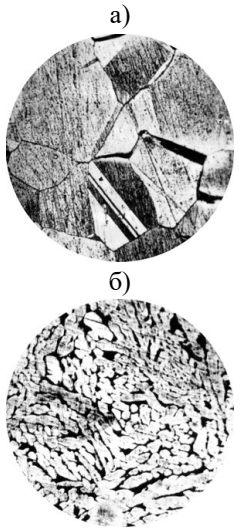


Рис. 14.3 Микроструктура латуней (× 100)
а) однофазная α-латунь
б) двухфазная α+β-латунь

Микроструктура двухфазной α+β-латуни состоит из светлых зерен α-твердого раствора и расположенных по границам этих зерен темных образований β-фазы (рис. 14.3 – б). *α-фаза обладает хорошими пластическими свойствами, β-фаза менее пластична. Поэтому α-латуни обладают лучшей пластичностью, но меньшей прочностью, чем α+β-латуни*. На рис. 14.4 приведен график зависимости механических свойств латуни с повышением содержания в них цинка.

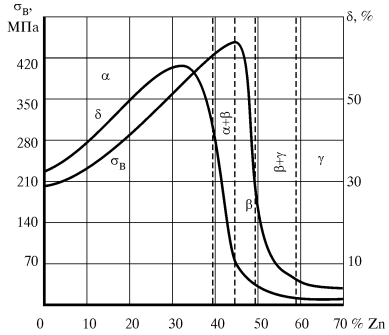


Рис. 14.4 Механические свойства латуней в зависимости от содержания цинка

Как видно из графика, при возрастании содержания цинка до 39% (область α-фазы) увеличиваются и пластичность, и прочность латуней; при содержании цинка более 39% (область α+β) прочность продолжает увеличиваться, а пластичность резко падает, что объясняется появлением и ростом количества твердой и хрупкой β-фазы.

Латуни применяют, главным образом, как деформируемые сплавы (листы, ленты, трубки, прутки) и в меньшей степени в качестве литейных сплавов для изготовления фасонных отливок.

1.4. Бронзы

Двойные или многокомпонентные сплавы меди с оловом, алюминием, свинцом, бериллием, кремнием и другими элементами называются бронзами. В зависимости от добавляемого элемента они называются соответственно: с цинком — оловянные бронзы; с алюминием — алюминивые; с бериллием — бериллиевые и сложные бронзы: с цинком и свинцом — оловянно-свинцовые, с алюминием и марганцем — алюминиево-марганцовистые и т.д.

Основные свойства, характерные для всех видов бронз: хорошие литейные и антикоррозийные свойства, хорошая обрабатываемость резанием. Наибольшее практическое применение в промышленности получили оловянные бронзы, содержащие до 12-14% олова.

Согласно диаграмме состояния Cu-Sn (рис. 14.5), структура этих сплавов представляет собой однородный твердый раствор олова в меди — α-фазу, имеющую гранецентрированную кубическую решетку. При содержании Sn > 14%, согласно диаграмме, появляется δ-раствор на базе соединения Cu_3Sn.

Появление в структуре бронз δ-фазы приводит к резкому ухудшению механических свойств бронзы (рис. 14.6), вследствие чего они не находят практического применения.

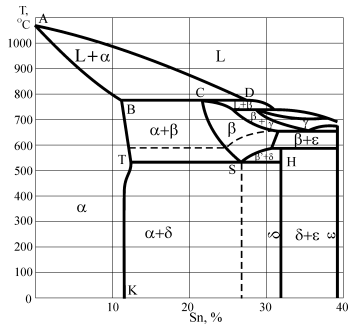


Рис. 14.5 Диаграмма состояния Cu-Sn

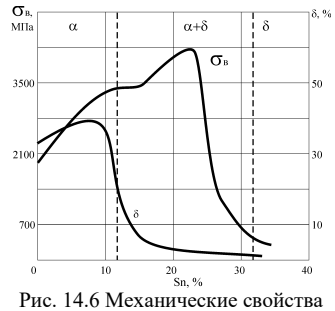


Рис. 14.6 Механические свойства оловянистых бронз в зависимости от содержания олова

Характерная микроструктура оловянной бронзы приведена на рис. 14.7.



Рис. 14.7 Микроструктура литой оловянной бронзы (× 100)

Бериллиевая бронза отличается от остальных высокой твердостью и упругостью. Бериллиевая бронза Бр.Б2 (с 2% Be), обладая высокой прочностью и упругостью при одновременно высокой химической стойкости, хорошей свариваемости, обрабатываемости резанием, широко применяется для ответственных пружин, мембран, пружинящих контактов.

Алюминиевые бронзы, содержание 5-10% Al, обладают ценными механическими и технологическими свойствами: высокой прочностью и жидкотекучестью, дают концентрированную усадочную раковину. Алюминиевые бронзы применяют для изготовления ответственных деталей: втулок, направляющих седел, фланцев, винтов высшего класса.

1.5. Антифрикционные (подшипниковые) сплавы

Сплавы, из которых изготавливают вкладыши подшипников различных механизмов и двигателей называются подшипниковыми.

Для этой цели применяют серый чугун, бронзу, алюминиевые сплавы и легкоплавкие сплавы на основе олова, свинца, баббиты.

Металл вкладыша должен обладать следующими свойствами:

малым коэффициентом трения со стальной поверхностью;

обе трущиеся поверхности должны мало изнашиваться;

материал подшипника должен выдерживать достаточное удельное давление.

Первое и второе требования удовлетворяются тогда, когда *структура вкладыша неоднородна и состоит из твердых включений и мягкой основы*. После «приработки» на поверхности вкладыша образуется микрорельеф — выступают твердые включения, и между валом и вкладышем образуется зазор, в котором удерживается смазка (так называемый «принцип Шарпи»).

Для изготовления неответственных подшипников, работающих в условиях отсутствия ударных нагружений, применяют серый и ковкий перлитный чугун. Графитовые включения чугуна образуют каналы, в которых удерживается смазка. В случае сухого или полусухого трения графит сам играет роль смазки.

При повышенных удельных давлениях и больших скоростях вращения вала (например, в быстроходных дизелях) для изготовления подшипников применяют свинцовую бронзу Бр.С30 с содержанием около 30% Pb.

Структура бронзы представляет собой механическую смесь меди (светлые зерна) и свинца (темные зерна). В таких подшипниках основа — сравнительно твердая медь, включения — мягкий свинец (рис. 14.8 – а).

Наиболее широкое применение в технике получили баббиты – сплавы на основе олова или свинца с добавлением в них сурьмы и меди.

Оловянные баббиты – (Б83, Б89). Лучшим и наиболее распространенным из оловянных баббитов считается баббит марки Б83 (83% Sn, 11% Sb, 6% Cu). Структура его состоит из мягкой пластичной основы (темный фон, представляющий собой твердый раствор сурьмы в олове Sn(Sb) и твердых включений (крупные светлые прямоугольные кристаллы) – соединения SnSb (рис. 14.8 – б).

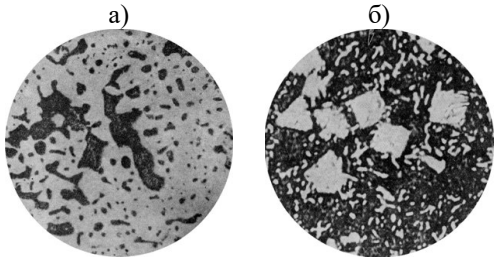


Рис. 14.8 Микроструктура антифрикционных сплавов (× 100)
а) свинцовистая бронза
б) баббит Б83

Присутствие меди способствует не только созданию твердых частиц Cu_3Sn, но и препятствует ликвации по удельному весу при кристаллизации.

Оловянные баббиты способны выдерживать большие удельные давления, обеспечивают надежность работы механизмов при больших скоростях, обладают хороши антифрикционными, технологическими свойствами, хорошей теплопроводностью и коррозионной

стойкостью. Недостатком их является высокая стоимость, так как Sn — дорогой металл.

Свинцовистые баббиты появились как результат многочисленных исследований, направленных на изыскание более дешевых сплавов, не содержащих большого количества дорогого олова, способных заменить высокооловянистые баббиты в работе. Баббиты марок Б16, БН во многих случаях успешно заменяют баббиты Б83, хотя уступают им по многим показателям.

2. Практическая часть

2.1. Порядок выполнения работы

1. Изучить микроструктуру сплавов на основе меди при помощи металлографического микроскопа МИМ-7 при увеличении × 100.

2. Зарисовать микроструктуры в тетрадь, указав увеличение микроскопа и структурные составляющие сплавов.

3. Исследование влияния содержания цинка на твердость латуней.

3.1. Получить у лаборанта образцы латеней с различным содержанием цинка.

3.2. Измерить твердость образцов на приборе Роквелла при нагрузке 1000 Н стальным закаленным шариком (шкала В).

3.3. Построить график изменения твердости в зависимости от содержания цинка.

2.2. Содержание отчета

1. Краткое описание наиболее характерных свойств рассмотренных сплавов.

2. Чертеж диаграммы состояния Cu - Zn до 44%.

3. Рисунки структур, выполненные в карандаше, в соответствии с заданием.

4. Графики изменения механических свойств латуней и бронз в зависимости от концентрации Zn и Sn.

5. Указать некоторые марки латуней, бронз, баббитов, их применение в судовом машиностроении.

6. График изменения твердости в зависимости от содержания Zn.

3. Контрольные вопросы

1. Характеристика основных физико-механических и технологических свойств меди.

2. Что такое латуни? Какие фазы встречаются в системе Cu - Zn и что они собой представляют?

3. Какие сплавы называются бронзами? Какие виды бронз вы знаете?

4. Охарактеризуйте основные фазы, встречающиеся в оловянной бронзе, их структуру и свойства.

5. Какие сплавы называются антифрикционными? Каковы особенности их свойств и применения?

6. Какие сплавы называются баббитами? Виды баббитов, их структура, свойства и применение.

РАБОТА 15. СПЛАВЫ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ И ИХ ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Цель работы: изучение сплавов на основе алюминия, их классификация, структура, термообработка и влияние ее на свойства.

1. Теоретическая часть

1.1. Общие сведения

Алюминий имеет температуру плавления 660^{O}C, плотность 2,7 г/см^3, твердость НВ 200 МПа, прочность 100 МПа,относительное удлинение δ=40%, высокую тепло- и электропроводность.

Применяется алюминий в основном в виде сплавов. Технически чистый алюминий имеет от 0,5 до 2% различных примесей (постоянными являются Fe и Si), микроструктура его имеет вид крупных зерен с наличием примесей в виде темных включений или эвтектики.

Алюминиевые сплавы обозначаются буквой А. Затем следуют цифры, показывающие степень чистоты алюминия. Для чистого алюминия, например, марки А0000 — алюминий высокой чистоты, сумма примесей — 0,004%; А1 — сумма примесей — 0,5%.

Алюминиевые сплавы применяются как в деформированном, так и в литом состоянии. У деформируемых сплавов после буквы А ставится К или Д, у литейных – Л, а затем условный номер сплава.

1.2. Классификация алюминиевых сплавов

Деформируемые сплавы разделяются на неупрочняемые и упрочняемые термообработкой.

К неупрочняемым термообработкой относятся сплавы алюминия с марганцем (0,3-1,6%) и магнием (1,8-6,8%) типа АМн, АМг2, АМг3.

К сплавам, упрочняемым термообработкой, относятся дюралимины (Д1, Д16), ковочные (АК), высокопрочные (В95) и др.

Основой наиболее распространенных сплавов типа дюралиминов является тройная систем из алюминия (основа), меди 3,8-5,2% и магния 0,4-1,8%.

Кроме этих элементов, вводится марганец для повышения коррозийной стойкости. В качестве постоянных примесей присутствуют кремний и железо.

Прокатанный и отожженный дюралимин имеет относительно невысокие механические свойства : $\sigma_в$ = 200-250 МПа; δ = 20% и НВ = 500 МПа. Структура его состоит из алюминиевого твердого раствора, светлых выделений $CuAl_2$, фазы S ($CuMgAl_2$) и темных нерастворимых железистых и марганцовистых соединений.

После термической обработки, которая заключается в закалке и старении, структура изменяется, и за счет этого можно получить более высокую прочность.

1.3. Термическая обработка дюралюминов

В соответствии с диаграммой Al-Cu при температуре 500^{O}C в алюминии растворяется 5,7% Cu, а при комнатной температуре только 0,2% (рис.15.1).

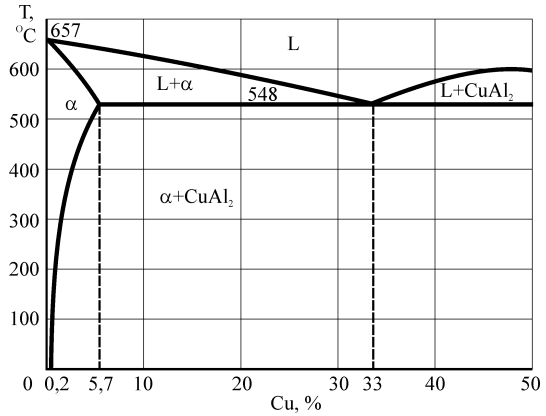


Рис. 15.1 Диаграмма состояния Al-Cu

Закалка дюралимина производится при температуре 500^{O}C в воде с целью перевода $CuAl_2$ и S -фазы в твердый раствор.

При этом механические свойства сплава почти не изменяются. Изменение свойств наблюдается при старении. С течением времени в этом перенасыщенном и неустойчивом твердом растворе за счет диффузии протекают процессы, сопровождающиеся образованием в кристаллической решетке твердого раствора особых зон Гинье-Престона (ГП) обогащенных атомами меди. Старение идет в несколько стадий. Вначале образуются зоны ГП, затем наблюдается их увеличение в размерах и только после этого из твердого раствора начинается выделение новой фазы. Все эти процессы создают большие внутренние напряжения в кристалле, что и приводит к значительному упрочнению сплава. Этот процесс, который проходит при обычной (комнатной) температуре, называют *естественным старением*. Он обычно продолжается 4-7 суток (рис. 15.2).

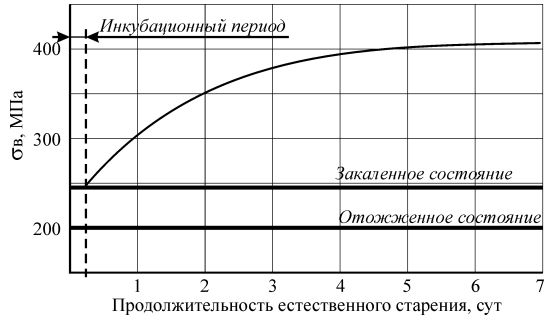


Рис. 15.1 Изменение прочности дюралюмина при естественном старении

Начальный период старения, в котором свойства практически не меняются называют *инкубационным*. *Инкубационный период имеет весьма важное технологическое значение*, так как в этот момент закаленный сплав обладает высокой способностью к пластической деформации и детали можно подвергать таким операциям, как расклепка заклепок, гибка, отбортовка.

Для ускорения применяют искусственное старение, для чего сплав после закалки подогревают до 100-170^{O}C, и в итоге прочность дюралимина возрастает до 480 МПа, НВ — до 1200 МПа, относительное удлинение δ = 20%.

Благодаря высокой пластичности дюралимин можно обрабатывать давлением в холодном состоянии. После холодной прокатки в результате наклепа происходит дальнейшее упрочнение сплава до 600 МПа, НВ 1600 , но пластичность при этом падает до 4-6%.

1.4. Литейные алюминиевые сплавы

В качестве литейных алюминиевых сплавов широко применяются силумины — сплавы алюминия с 12-13% кремния. Они обладают хорошими литейными свойствами и имеют небольшую усадку. В твердом состоянии алюминий и кремний почти нерастворимы и образуют эвтектику (11,6% Si) (рис. 15.3).

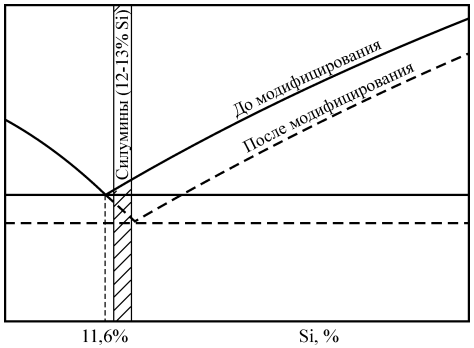


Рис. 15.3 Диаграмма состояния Al-Si

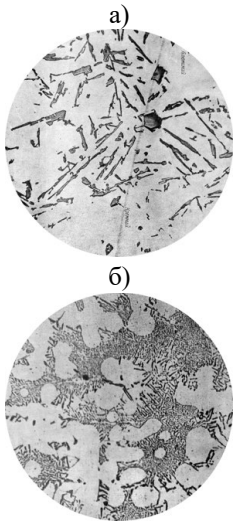


Рис. 15.4 Микроструктура силумина (× 250)
а) до модифицирования
б) после модифицирования

При обычном способе литья эвтектика силуминов имеет грубое строение. Кремний в ней находится в виде крупных игл (рис.15.4 – а).

Для измельчения кристаллов кремния и повышения свойств силумины подвергают *модифицированию*, т.е. перед разливкой вводят в жидкий сплав небольшое количество натрия (0,1%) или 1-3% смеси его солей (2/3 NaF + 1/3 NaCl), после чего эвтектика становится мелкозернистой (рис.15.4 – б).

Кроме того, *заэвтектический сплав с 12-14% Si становится по структуре доэвтектическим* (т.е. происходит сдвиг эвтектической точки вправо).

Дальнейшее повышение свойств литейных сплавов достигается присадкой Mg, Cu, Zn и термической обработкой (закалка и старение).

1.5. Жаропрочные алюминиевые сплавы

Детали, работающие при высоких температурах (200-300 ^{O}C), должны сохранять высокую прочность при этих условиях.

К таким деталям можно отнести поршни, головки цилиндров ДВС и др.

Применяемые для этих целей алюминиевые сплавы легируют медью, никелем, титаном, железом и подвергают закалке (перевод избыточных фаз в твердый раствор) и затем искусственному старению. Чем сложнее состав сплава и состав выделяющихся фаз, тем медленнее происходит разупрочнение сплава при высоких температурах.

2. Исследовательская часть

2.1. Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретические сведения

2. Изучить микроструктуру алюминиевых сплавов при увеличениях ×100, ×250. Зарисовывать микроструктуры в отчет с описанием структурных составляющих.

3. Изучить влияние термической обработки на твердость алюминиевых сплавов.

3.1. Получить у лаборанта образца дюралюмина Д16 и замерить исходную твердость на приборе Роквелла (шкала В)

3.2. Образцы нагреть в лабораторных печах до температуры 495-510^{O}C и выдержать при этой температуре в течение 30-40 минут. После выдержки образцы закаливаются в воде.

3.3. Измерить твердость закаленных образцов измеряется.

3.4. Провести старение при температурах 100, 170, 230 ^{O}C с выдержками 10, 20 и 40 минут. Замерить твердость образцов после старения, полученные данные занести в табл. 15.1.

3.5. Построить график «Твердость – температура старения»

3.6. Сделать вывод о влиянии температуры и длительности старения на свойства алюминиевых сплавов.

Таблица 15.1

Протокол исследований

Марка сплава	Твердость HRB до ТО	Температура нагрева под закалку, ^{O}C	Твердость HRB после закалки	Температура нагрева при старении, ^{O}C	Время выдержки, мин	Твердость HRB после старения
Д16		500		100	10	
					20	
					40	
				170	10	
					20	
					40	
				230	10	
					20	
					40	

2.2. Содержание отчета

1. Классификация алюминиевых сплавов.
2. Краткое описание основных видов алюминиевых сплавов и их назначение.
3. Схематические рисунки и описание структур дюралимина, силумина.
4. Заполненный протокол исследований (табл. 15.1) и график влияния температуры старения на твердость дюралюмина.
5. Вывод по работе.

3. Контрольные вопросы

1. Как классифицируются алюминиевые сплавы?
2. Какие сплавы относятся к неупрочняемым термической обработкой, а какие – к упрочняемым?
3. Что называется дюралюмином? Силумином?
4. В чем особенность термической обработки дюралюминов?
5. Какие процессы происходят в алюминиевых сплавах после закалки? Что называется старением?
6. Как изменяются свойства дюралюминов в зависимости от продолжительности старения? Сопоставьте изменение свойств со структурными превращениями.
7. Зачем производится модифицирование силуминов? Как изменяется структура и свойства силуминов после модифицирования?

РАБОТА 16. СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: изучить основными видами полимеров, применяемых в судостроении, и исследование явления ползучести термопластов, обусловленное их линейной структурой.

1. Теоретическая часть

1.1. Общие сведения

Судостроение является одной из наиболее насыщенных неметаллическими материалами отраслей промышленности. Эти материалы широко используются для изготовления корпусов и надстроек малотоннажных судов (шлюпок, катеров), для различных узлов конструкций, деталей судовых механизмов, всевозможных устройств, внутренней отделки помещений. Основными свойствами, способствующими значительному распространению неметаллических материалов в судостроении, а также и в ряде других отраслей техники являются: малый удельный вес, высокие удельные характеристики прочности, жесткости хорошие антикоррозионные, теплоизоляционные, звукоизоляционные, фрикционные свойства. Кроме того, технология изготовления изделий из неметаллов не сложна и значительно производительнее, чем из металлических материалов.

Наиболее широкое применение получили полимеры – синтетические высокомолекулярные органические соединения с линейной, разветвленной и пространственной (сетчатой) структурой расположения мономолекул (рис. 16.1).

Полимеры классифицируют на термопластичные и термореактивные Термопластичные, имеющие линейное строение, могут размягчаться и затвердевать многократно при изменении температуры.

Термореактивные полимеры в исходном состоянии имеют также линейное строение и при нагревании сначала размягчаются, затем вследствие протекания химических реакций, их структура меняется, они затвердевают и более уже не размягчаются. К таким полимерам относятся фенол-формальдегидная, глифталиевая и другие смолы.

В данной работе будут рассматриваться термопластические полимеры (термопласты).

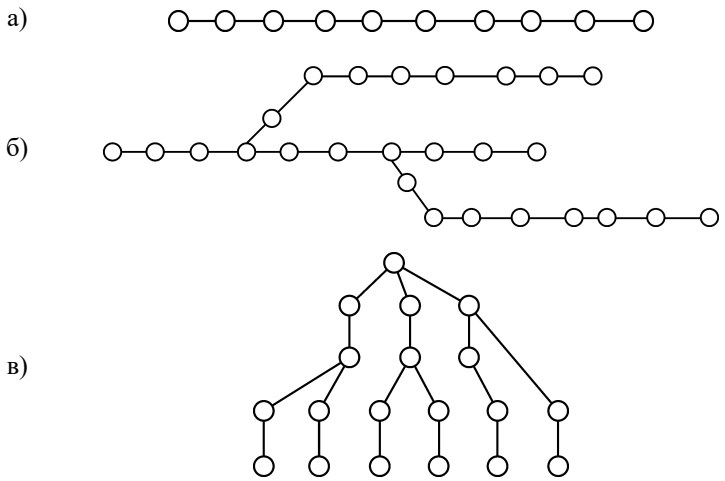


Рис. 16.1 Схема строения полимеров.
а) линейные цепи мономолекул; б) разветвленные, в) сетчатые (пространственные)

1.2. Краткая характеристика термопластов

Полиэтилен (ПЭВД, ПЭНД) — продукт полимеризации этилена, имеющий формулу $(—CH_2—CH_2—)_n$. Он представляет собой бесцветный, полупрозрачный воскообразный материал. Обладает высокой химической стойкостью, водонепроницаемостью, малой газопроницаемостью. Теплостойкость невелика – 60…100°С морозостойкость –70°С.

Полиэтиленовые пленки при комнатной температуре нерастворимы ни в одном из известных растворителей, устойчивы к воде, ацетону, спирту. Из полиэтилена изготавливают трубы, литые и прессованные, несиловые детали, пленки для изоляции проводов, кабелей, покрытия на металлах для защиты от коррозии (питьевые цистерны, трубопроводы).

Полипропилен (П) – производное от этилена с элементарной химической формулой $(—CH_2—CHCH_3—)_n$. Он более прочен и газонипроницаем, чем полиэтилен. Теплостойкость 150°С, морозостойкость слабая (-15…20°С).

Из пропилена изготавливают трубы, детали насосов, подшипники.

Поливинилхлорид (ПВХ) – является аморфным полимером с химической формулой $(—CH_2—CHC—)$. Обладает хорошей химической стойкостью, атмосферостойкостью, не поддерживает горения. Одним из вариантов поливинилхлорида является хорошо известный винипласт – непрозрачный материал, выпускаемый в виде листов и пластин, толщиной от 2 до 200 мм. Из винипласта изготовляют трубы, детали вентиляционных устройств, облицовочные плитки, облицовку сосудов для агрессивных жидкостей. Хрупок при температурах ниже –10°С.

Полиметилметакрилат (органическое стекло) — прозрачный термопласт на основе сложных эфирвв акриловой и метакриловой кислот со сложной формулой. Выпускается в виде листов. Он легче в 2 раза минеральных стекол, пропускает ультрафиолетовые лучи, химически стоек во многих средах. Из него изготавливают многослойное стекло «триплекс», которое нашло широкое применение при моделировании судовых конструкций.

Полиамиды (капрон, перлон, нейлон, капролон). Исходным продуктом для получения полиамидов является капролактан (ГОСТ 7850—74), получаемый синтетически из бензина, анилина, фенола. В цепях этих полимеров повторяются амидные группы —СО—Н—

Амидные группы содержатся в некоторых природных веществах: белках, шерсти, шелке. Вследствие этого искусственные .волокна лз полиамидных смол обладают свойствами, близкими к свойствам натуральных волокон. Полиамидами являются капрон, нейлон, перлон, из которых изготавливают канаты, веревки и т. д.

В последнее время на основе капролактана в СССР и за рубежом стали широко применять полиамиды – капролон или капролиг. Из них изготавливают различные малогабаритные детали, такие как дейдвудные подшипники, подшипники балеров рулей на судах, шлюпках, катерах, крышки клапанов, шестерни и т. д.

Значительное повышение свойств у полиамидов получено за счет армирования, их стекловолокном. Прочность на разрыв при этом возросла в 2 раза, возросли также стабильность размеров, термостойкость, морозостойкость, уменьшились усадка и плотность. Сейчас имеется более 1000 марок стеклонаполнениых термопластов.

Сфера применения полиамидов за счет введения стеклонаполнителей значительно расширилась. В судостроении широко зарекомендовали себя «стеклонаполненные полиамиды» (ГОСТ 17648-72) – пенопласт и фторопласт. Пенопласт отличается высокой водостойкостью, прочностью, твердостью и низким коэффициентом трения, кроме того, химически стоек. У него высокая теплостойкость, морозостойкость.

Он используется для покрытия различных изделий судового машиностроения (трубопроводы, арматура, гребные винты).

Фторопласт – продукт полимеризации тетрафторэтилена. Отличается высокой коррозионной стойкостью и теплостойкостью до 250°С, не охрупчивается до -270°С. Стоек к действию кислот, щелочей, растворителей. Имеет высокий коэффициент трения, удельный вес 2,15 г/см^3.

Применяют фторопласт для изготовления труб, различных деталей, уплотнителъных прокладок.

Полиформальдегид – линейный полимер (—CH_2—O—) имеет высокую жесткость, ударопрочность, упругость. Водостоек, химически стоек к бензину, минеральным маслам. Рабочие температуры от -40°С до 130°С. Изготавливают зубчатые колеса, шестерни, подшипники и т. д. По усталостной прочности превосходит все остальные термопласты.

1.3. Ползучесть термопластов

Термопласты отличаются от других материалов наличием эластичной деформации, т. е. способностью под действием нагрузки изменять в некоторых пределах форму и размеры (медленно в течение времени); а при снятии нагрузки тоже медленно восстанавливать свои размеры и форму.

Наличие такой деформации обусловлено линейной структурой термопластов (рис. 16.1 – а*),* при которой внутри элементарных звеньев цепи (молекул) действуют химические силы связи, а между отдельными звеньями – силы физической природы. Прочность химических связей значительно превосходит межмолекулярное взаимодействие, и поэтому элементарные звенья линейных полимеров подвижны – могут легко менять свое положение и цепи их могут принимать форму спиралей, клубков, зигзагов. Подвижность цепей и определяет характерные свойства термопластов – способность размягчаться при повышении температуры, проходя стеклообразное, высокоэластичное и вязкотекучее состояния. При охлаждении они постепенно затвердевают, проходя те же состояния.

В стеклообразном состоянии у термопластов преобладает упругая деформация, которая мало зависит от температуры, устанавливается и снимается мгновенно при действии нагрузки.

В вязко-эластичном состоянии, кроме упругой, может быть эластичная и пластическая деформации. Как уже говорилось, эластичная деформация со временем прекращается и после снятия нагрузки исчезает.

Пластическая деформация связана с необратимыми перемещениями молекул. Ее величина зависит от вязкости полимера и времени. После снятия нагрузки она не исчезает.

Таким образом, при любой температуре, при действии нагрузки у линейных полимеров могут наблюдаться все три вида деформаций: упругая, эластичная и пластичная. В зависимости от состояния, температуры и величины нагрузки будет преобладать тот или иной вид.

При некоторой постоянной температуре под действием определенного напряжения в деталях из термопластов может возникать явление ползучести – постепенное увеличение размеров во времени, что, конечно, нежелательно При этом, если по условиям эксплуатации имеет место только упругая и эластичная деформация то через некоторое время изменение размеров прекратится. При наличии всех трех видов деформации изменение размеров будет продолжаться до разрушения.

Итак, в любом состоянии общая деформация

$$\varepsilon_{общ} = \varepsilon_{упр} + \varepsilon_{эл} + \varepsilon_{пл}$$

Можно определить каждую из них, анализируя зависимость общей относительной деформации от времени (рис. 16.2) при приложении постоянного напряжения (участок OABD) и после полного разрушения образца (участок DCF).

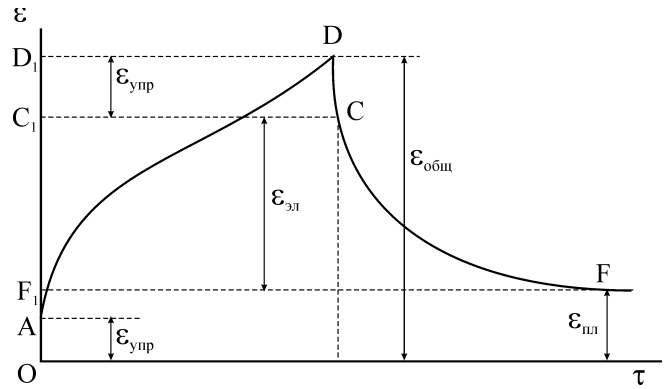


Рис. 16.2 График зависимости деформации от времени (для винипласта)

Общая относительная деформация OF является суммой отрезков OF_1, FC_1, CD. Отрезок $C_1D_1 = CD = OA$ — упругая деформация, т. к. она развивается мгновенно после нагружения и исчезает после снятия

нагрузки. Отрезок F_1C_1 – выражает эластичную деформацию и может быть найдена следующим образом:

$$\varepsilon_{эл} = \varepsilon_{общ} - \varepsilon_{упр} - \varepsilon_{пл}$$

2. Исследовательская часть

2.1. Порядок выполнения работы

1. Получить образцы винипласта у преподавателя.
2. Измерить диаметр образца, вес груза, температуру испытания.
3. Образец 1 (см. рис. 16.3) закрепить в зажиме 2, надеть на него указатель 5 и груз 3. На шкале прибора отметить положение указателя.

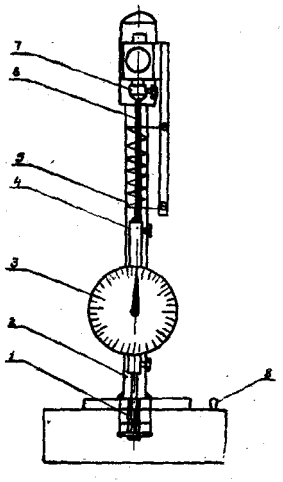


Рис. 16.3 Схема прибора для определения ползучести полимеров

1 – образец; 2 – зажим;
3 – груз; 4 – спираль-нагреватель;
5 – шкала

4. Опустив груз, включить секундомер и отметить положения указателя через 2, 30, 60, 120 с, и далее через каждые 2 мин. Общее время выдержки под нагрузкой – 10 мин.
5. Для каждого замера вычислить относительное удлинение образца по формуле:

$$\varepsilon_{общ} = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \cdot 100\%$$

6. Построить график зависимости относительного удлинения от времени, определить величины $\varepsilon_{упр}$, $\varepsilon_{эл}$, $\varepsilon_{пл}$.

2.2. Содержание отчета

1. Название, цель работы
2. Краткие теоретические сведения о строении термопластов и природе их ползучести.
3. Схема установки.
4. График зависимости относительного удлинения от времени испытаний.
5. Расчет $\varepsilon_{упр}$, $\varepsilon_{эл}$, $\varepsilon_{пл}$.
6. Вывод

3. Контрольные вопросы

1. Что такое полимеры?
2. Чем отличаются термореактивные и термопластичные полимеры?
3. Какие характерные свойства способствуют широкому применению полимеров в судостроении?
4. Перечислите основные термопласты и дайте их краткую характеристику.
5. В чем заключается явление ползучести у полимеров?
6. Что такое эластичная деформация полимеров?
7. Как определить значения $\varepsilon_{упр}$, $\varepsilon_{эл}$, $\varepsilon_{пл}$.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
МОРСКОГО И РЕЧНОГО
ТРАНСПОРТА
Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Волжский государственный
университет водного транспорта»
(ФГБОУ ВО «ВГУВТ»)
ул. Нестерова, 5, Нижний
Новгород,603951
Тел. (831)419 – 79 – 51

Кафедра Подъемно-транспортных машин и машиноремонта

2 курс Морской академии

Специальность 26.05.07 Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики

ОПК-3. Способен проводить измерения и наблюдения, обрабатывать и представлять экспериментальные данные

ТЕСТ

по дисциплине

«Материаловедение и технология конструкционных материалов»

Часть 1. Выберите один правильный ответ

1. Основной теоретической базой материаловедения НЕ является:

A) физика твёрдого тела

B) кристаллография

C) гидродинамика

D) физическая химия

2. Макроструктурный анализ позволяет оценить все перечисленные характеристики, КРОМЕ:

A) наличие усадочной раковины

B) размер зерна феррита

C) характер волокнистого строения

D) распределение шлаковых включений

3. При кристаллизации стального слитка зона столбчатых кристаллов формируется вследствие:

A) высокой скорости охлаждения по всем направлениям

B) направленного отвода тепла через стенки изложницы

C) равномерного распределения примесей

D) использования раскислителей

4. Дендритная ликвация — это:

A) скопление газов в центре слитка

B) обогащение межосных пространств дендритов легкоплавкими примесями

C) образование равно осных кристаллов в центре слитка

D) растрескивание при горячей деформации

5. Какой из методов НЕ используется при макроанализе?

A) метод Баумана

B) метод Гейна

C) метод рентгеноструктурного анализа

D) визуальный анализ излома

6. При исследовании сварного шва методом Гейна тёмные участки после травления указывают на:

A) зону основного металла

B) зону термического влияния

C) дефекты (непровар, поры, шлаковые включения)

D) наплавленный металл

7. Разрешающая способность оптического микроскопа ограничена:

A) качеством окуляра

B) длиной волны света

C) толщиной образца

D) влажностью воздуха

8. При травлении микрошлифа в “Нитале” (4–5% HNO_3 в спирте) границы зёрен проявляются, потому что:

A) кислота окрашивает зёрна в разные цвета

B) на границах зёрен формируется оксидная плёнка

C) границы зёрен играют роль анодов и растворяются

D) кислота вымывает феррит, оставляя цементит

9. При исследовании микроструктуры стали после полирования, но до травления, под микроскопом можно обнаружить:

A) фазы феррит и перлит

B) неметаллические включения и трещины

C) зерна аустенита

D) графитные включения

10. На кривой охлаждения сплава площадка указывает на:

A) изменение скорости охлаждения

B) фазовое превращение при постоянной температуре

C) достижение комнатной температуры

D) начало нагрева образца

11. При анализе диаграммы состояния сплавов Pb–Sb точка эвтектики соответствует:

A) максимальной температуре плавления

B) минимальной температуре плавления при заданном составе

C) началу кристаллизации чистого свинца

D) образованию твёрдого раствора

12. Для сплава с составом 60% Pb – 40% Sb кристаллизация начинается с выделения:

A) чистого Sb

B) эвтектики

C) первичных кристаллов Pb

D) химического соединения PbSb

13. На диаграмме состояния линия ликвидус разделяет:

A) жидкую фазу и смесь жидкость + твёрдое

B) две твёрдые фазы

C) твёрдую фазу и смесь

D) зону гомогенного сплава

14. Правило отрезков используется для определения:

A) температуры плавления чистого металла

B) соотношения жидкой и твёрдой фаз при заданной температуре

C) скорости кристаллизации

D) размера зерна

15. Какое утверждение верно для горячедеформированного металла?

A) Прочность поперёк волокон выше, чем вдоль

B) Ударная вязкость одинакова во всех направлениях

C) Вдоль волокон прочность выше, чем поперёк

D) Волокнистая структура не влияет на свойства

Часть 2. Установите соответствие

16. Установите соответствие между методом и его назначением:

Метод	Назначение
1) Метод Баумана	A) Выявление волокнистой структуры
2) Метод Гейна	B) Выявление ликвации серы
3) Травление Ниталем	C) Выявление микроструктуры стали

17. Установите соответствие между зоной слитка и механизмом её формирования:

Зона	Механизм
1) Мелкозернистая корка	A) Рост кристаллов в направлении отвода тепла
2) Столбчатые кристаллы	B) Равномерное охлаждение во всех направлениях
3) Равноосные кристаллы	C) Быстрое переохлаждение у стенок формы

Часть 3. Дайте краткий ответ

18. Какой физический принцип лежит в основе метода Баумана? Напишите уравнение реакции, лежащей в его основе.

19. Как изменяется механическое свойство ударная вязкость вдоль и поперёк волокон в прокате? Объясните причину различия.

20. По диаграмме состояния сплавов Pb–Sb определите фазы, находящиеся в равновесии при температуре 250 °C и составе 70% Pb – 30% Sb.

Используйте правило отрезков для расчёта их относительного количества (качественно).

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО МОРСКОГО И РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»)
ул. Нестерова, 5, Нижний Новгород,603951
Тел. (831)419 – 79 – 51

Кафедра Подъемно-транспортных машин и машиноремонта

1 курс Морской академии

26.05.07 "Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ К ЗАЧЕТУ

по дисциплине «Материаловедение и технология конструкционных материалов»

ОПК-3. Способен проводить измерения и наблюдения, обрабатывать и представлять экспериментальные данные

1. Особенности строения металлов как кристаллических тел.
2. Дефекты кристаллического строения металлов.
3. Упругая и пластическая деформация, разрушение металлов.
4. Влияние нагрева на структуру и свойства деформированного металла (возврат и рекристаллизация).
5. Термодинамические предпосылки кристаллизации и плавления.
6. Формирование структуры металлов при кристаллизации.
7. Особенности строения стального слитка.
8. Механические свойства металлов и сплавов. Измерение твердости.
9. Механические свойства металлов и сплавов. Испытания на растяжение, сжатие, изгиб, кручение.
10. Механические свойства металлов и сплавов. Определение ударной вязкости.
11. Механические свойства металлов и сплавов. Определение усталостной прочности (предела выносливости).
12. Фазы в металлических сплавах (твердые растворы, химические соединения, механические смеси).
13. Правило фаз.
14. Диаграмма состояния для компонентов, образующих механические смеси.
15. Диаграмма состояния для компонентов, образующих неограниченные твердые растворы.
16. Диаграмма состояния для компонентов, образующих ограниченные твердые растворы.
17. Диаграмма состояния «железо-цементит». Основные особенности.
18. Диаграмма состояния «железо-цементит». Фазы.
19. Диаграмма состояния «железо-цементит». Основные превращения.
20. Углеродистые стали (классификация, микроструктура, свойства, маркировка, применение, термообработка).
21. Влияние углерода на свойства углеродистых сталей.
22. Белые чугуны (классификация, структура, свойства, применение, получение).
23. Серые чугуны (классификация, структура, свойства, маркировка, применение, получение).
24. Превращения переохлажденного аустенита в углеродистых сталях.
25. Особенности перлитного превращения в сталях.
26. Особенности бейнитного превращения в сталях.
27. Особенности мартенситного превращения в сталях.
28. Диаграмма изотермического распада переохлажденного аустенита («С-диаграмма»).

29. Четыре основных превращения в сталях при термической обработке.

30. Выбор основных параметров термической обработки углеродистых сталей.

31. Закалка углеродистых сталей. Выбор параметров закалки.

32. Отпуск углеродистых сталей. Выбор параметров отпуска.

33. Отжиг углеродистых сталей. Виды отжига, их назначение.

34. Нормализация углеродистых сталей.

35. Химико-термическая обработка стали (цементация и азотирование).

36. Легированные стали и их маркировка.

37. Классификация легированных сталей.

38. Автоматные конструкционные стали (структура, свойства, маркировка, применение)

39. Цементуемые стали (структура, свойства, маркировка, применение).

40. Улучшаемые стали (структура, свойства, маркировка, применение, термообработка).

41. Судокорпусные стали (структура, свойства, маркировка, применение).

42. Рессорно-пружинные стали (структура, свойства, маркировка, применение, термообработка).

43. Высокопрочные стали (структура, свойства, маркировка, применение, термообработка).

44. Углеродистые инструментальные стали (структура, свойства, маркировка, применение, термообработка).

45. Низколегированные инструментальные стали (структура, свойства, маркировка, применение, термообработка).

46. Быстрорежущие инструментальные стали (структура, свойства, маркировка, применение, термообработка).

47. Штамповые стали (структура, свойства, маркировка, применение, термообработка).

48. Коррозионно-стойкие (нержавеющие) стали (структура, свойства, маркировка, применение, термообработка).

49. Жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы (структура, свойства, маркировка, применение, термообработка).

50. Стали и сплавы с особыми свойствами.

51. Сплавы на основе меди (латуни, бронзы).

52. Сплавы на основе алюминия (деформируемые и литейные, упрочняемые и неупрочняемые термической обработкой). Термическая обработка алюминиевых сплавов (закалка и старение).

53. Материалы для модернизации транспортного радиоэлектронного оборудования, рекомендации по выбору и замене его элементов и систем.

54. Сплавы на основе магния.

Зав. кафедрой ПТМ и МР  А.Б.Корнев